

## 平成 16 年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究状況報告書

ふりがな		いそべ まさひこ					
研究代表者氏名		磯部 雅彦		所属研究機関・部局・職		東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授	
研究課題名	和文	微細気泡を用いた内湾貧酸素水の改善とその効果の長期的予測に関する研究					
	英文	Study on improvement of hypoxic water using micro-bubble aeration and prediction of its effects on long-term environmental change					
研究経費		平成14年度	平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	総合計
16年度以降は内約額 金額単位：千円		23,300	23,400	23,500	10,400	7,400	88,000
研究組織（研究代表者及び研究分担者）							
氏名		所属研究機関・部局・職		現在の専門		役割分担（研究実施計画に対する分担事項）	
磯部 雅彦		東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授		沿岸域環境		研究の統括、微細気泡発生装置設計	
佐藤 慎司		東京大学・大学院工学系研究科・教授		海岸工学		底質年代推定法の確立	
鯉淵 幸生		東京大学・大学院新領域創成科学研究科・講師		沿岸域環境		微細気泡発生装置の評価・影響調査	
佐々木 淳		横浜国立大学・大学院工学研究院・助教授		沿岸域環境		微細気泡発生装置の試作実験	
五明 美智男		東亜建設工業（株）・技術研究所		水産工学		自動昇降式観測システムを用いた現地モニタリングシステムの高度化	
当初の研究目的（交付申請書に記載した研究目的を簡潔に記入してください。）							
<p>東京湾をはじめとする内湾では、富栄養化による赤潮をはじめとする生態系の劣化が深刻で、特に夏場に恒常的に現れる貧酸素水は底生生物のへい死を引き起こす。さらに貧酸素水は高次生態系を支える大型の動物プランクトンの生息環境を奪うことから生態系の質の劣化を引き起こしているものと考えられる。</p> <p>本研究では内湾において最も深刻な問題である貧酸素水に着目し、実現可能性のある改善技術に関する基礎的検討とその長期的効果の予測を通して、貧酸素水改善に向けた戦略を提示することを目指す。まず、様々な方策の中から最も効果的と考えられる微細気泡を用いた酸素の溶解促進技術を実験室レベルで検討する。これを東京湾湾奥に点在する貧酸素海域に適用し、現場実験を通して内湾環境の改善に最も適したシステムを提案する。本システムによって貧酸素水が改善されると底質有機物分解の促進、底生生物の増大、プランクトンサイズの変化による生態系の変化、浅瀬の水質浄化機能の強化等、環境の大きな変動が予想される。そこで、生態系の質に着目し、底質も含めた総合的モニタリング手法を提案・実行し、得られる現地データの忠実な再現を志向した数値予測モデルを開発する。これらの成果を基に効果の長期的予測を踏まえた内湾環境改善への具体的戦略を示す。</p>							

これまでの研究経過（研究の進捗状況について、必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入してください。）

平成 14 年度は微細気泡発生装置を海域へ適用する際の基本的性質を室内実験によって把握した。微細気泡発生装置には、いくつかの製品が存在したが、その多くは工業プラントや貯水池等の淡水を対象としたものであり、海水への適用性についてはほとんど検討がなされていなかった。また、これらの装置の気泡発生メカニズムは気液混層流にせん断をかけるという共通点があるが、その真の性能や実用に向けたシステム構築の可能性については検討を要した。

そこでまず、数ある微細気泡発生装置の中から高品質な微細気泡を発生させることの可能な協和エンジニアリング製の装置を採用した。この際、高品質な微細気泡の条件については、室内実験から、気泡径が小さく径の分布幅が小さいことであることが分かった。本装置を用いて、淡水および人工海水を用いた酸素溶解実験を行い、海水実験ではたとえば、塩分の違いによる酸素溶解速度の変化を調べる等、定量的な情報を蓄積し、所与の環境下における酸素溶解速度の推定法を確立した。

一方、酸素溶解過程の詳細をいわゆる one path 実験により調べたところ、気泡を生成する微細気泡発生部（エジェクタ）の内部において瞬間的に大部分の酸素が溶解し、水中に放出された微細気泡からの酸素溶解はほとんど見られないことが明らかとなった。これは「微細気泡が水中を浮遊する過程で徐々に酸素を溶解させる」という従来の微細気泡に関する知見とは異なるものであり、現地への適用可能性を数値モデル等により検討するに際して重要な知見が得られた。

平成 15 年度は前年度の室内実験の結果を踏まえ、東京湾の京浜運河および東京湾三番瀬の旧船橋航路において現地実験を行った。現地実験に際し、スケールアップの容易性を考慮して OHR ラインミキサーを採用し、陸上部に電源、ポンプ、制御装置を配し、海底部に微細気泡発生部（エジェクタ）および吸水部を設けたシステムを構築した。

京浜運河ではカーテンを用いた閉鎖領域を 2 基設置し、一方に微細気泡発生装置を設置し、他方をコントロールとした対照実験を実施し、様々な条件下で酸素溶解特性や環境改善効果を調べた。また影響を調査するために、溶存酸素濃度の他に水質や底質の調査を行った。試行錯誤の結果、海底部の溶存酸素濃度を最大 76% 回復させることができた。

これらの結果を踏まえ、開放的な海域である旧船橋航路における現地実験を実施した。旧船橋航路は凹部となっていることから閉鎖性が高く、浮泥の堆積した貧酸素化の著しい海域であることから、微細気泡技術の適用に最も適した海域であると考えられる。先に構築したシステムをさらにスケールアップし実海域に適用可能なシステムを構築した。このシステムは、発電機、燃料タンク等の陸上部と水中ポンプとラインミキサーによって構成される水中設置部に分かれており、電力をはじめとする陸上供給を一切必要としないため、船等を用いて目的海域に柔軟に設置することが可能である。旧船橋航路での実験は 8 月末からの 1 ヶ月間にわたって遂行した。この間、微細気泡発生装置の周囲 5 点において係留系を設置し、それぞれの上中下層における水質の連続観測と内 1 点における ADCP を用いた流速観測を実施した。また、週 2 回程度の頻度で備船による水・底質調査を行うことで、当該海域における本システムの効果や影響範囲を多角的に把握した。

本実験の結果、最大で半径数メートルの規模での貧酸素の改善が確認された。改善効果は成層の強度や気泡によって誘起される上昇流の速度によって規定されることが明らかとなった。当該システムでは気泡流量を増大させると平均的な気泡径が大きくなってしまいうという問題が顕在化し、これが強い上昇流を引き起こして周囲の無酸素水を引き込む結果、貧酸素改善効果が著しく低下した。一方、強い成層が存在すると上昇流が抑制されることから、改善効果が高まることが明らかとなった。これらの過程を簡単なボックスモデルにより解析することによって、当該海域における成層強度や上昇流の大きさと貧酸素改善効果との関係を定量的に評価し、所与の貧酸素改善目標を達成するために必要となる微細気泡装置の性能を評価できるようになった。

さらに、底泥についてもキノンを用いた分析を行い、微細気泡発生以降で、好気呼吸に係わるユビキノロンが 20% 増加し、逆に嫌気呼吸に係わるメナキノンは低下するなど、底泥の微生物群集構造にも変化が見られ、微細気泡の効果が底泥についても確認された。

これらの結果を踏まえ、新しいシステムとして、小型の微細気泡発生部を複数配置するシステムを開発し、広い範囲での貧酸素改善が可能なシステムが構築されつつある。

特記事項（これまでの研究において得られた、独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、学問的・学術的なインパクト等特記すべき事項があれば記入してください。）

従来、微細気泡発生装置による酸素溶解過程は次のように理解されてきた。すなわち、気泡が水中に放出された後に、体積あたりの表面積の割合が極めて大きいという微細気泡の特徴による気泡表面での効率的な気体の拡散過程によって酸素が効率的に溶解すること、および気泡径が小さいために気泡の浮上速度が極めて小さく、長時間にわたり底層に留まりながら拡散していく過程で酸素が溶解することである。ところが、本研究で採用した微細気泡発生装置を用いた詳細な検討の結果、酸素は装置内部のエジェクタにおいて瞬間的に溶解していることが明らかとなり、水中に放出された気泡にはほとんど酸素が含まれていない可能性が示唆された。この事実は学会発表の場においても注目される結果となり、少なくとも当該分野においては常識を覆すものとなった。このことはまた、本格的に現地適用性を検討する際の効果予測においても有効な情報となるものであり、価値が高いといえる。

さらにこのような結果を踏まえて、実海域で現地実験を行った。従来湖沼やダム湖などの淡水の流れのない水域では、微細気泡による同様の検討が行われたことはあるが、本研究では、複雑な流れのある実海域に微細気泡発生システムをはじめて適用した。その結果、半径数mにおいて微細気泡による溶存酸素の回復が見られた。なお今回の実験では、微細気泡の溶解効率や影響範囲を明確にするため、微細気泡の放出口を1つだけにしてあるため、影響範囲が数mと比較的小さいが、実際には同様の放出口を海域に複数配置することで、酸素の回復範囲を大きくすることが可能であり、実海域に適用可能な実用性の高い微細気泡発生システムを提案することができた。

微細気泡の影響については、従来水中の溶存酸素濃度の増加のみで判断されてきたが、本研究では、溶存酸素のみならず、水中の栄養塩やクロロフィルa、超音波等を用いて包括的な検討を行い、微細気泡発生システムが与える影響を、流動・水質・底質等について総合的に把握することが可能になった。この際、底質については、従来下水処理場等で微生物群集解析に用いられてきた、キノプロファイル法を適用して、微生物群集構造を調査したことで、従来の培養では検出できなかったような、実際の現場海域における微生物群集構造と、それらが微細気泡によって変化する様子を観測することに成功した。底泥表層の微生物の組成は微細気泡によって大きく変化し、嫌気呼吸の群集から、好気呼吸の群集構造へと変化していた。このような底質の分析手法は、きわめて応用性が高く、従来検討の難しかった水域の環境の質を計測する技術としても適用できる可能性が高い。

研究成果の発表状況(この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(発表予定のものを記入することも可能。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。)

田中真史・佐々木 淳・柴山知也・磯部雅彦, 窪地海域を対象とした微細気泡エアレーションによる貧酸素水改善効果の解析, 海岸工学論文集, 第51巻, 2004. (発表予定)

鯉淵幸生・佐々木淳・五明美智男・栗原明夫・鈴木俊之・田中真史・磯部雅彦, 貧酸素水改善に向けた現地微細気泡実験, 海岸工学論文集, 第51巻, 2004. (発表予定)

Islam Mohammad Shahidul・Masahiko Isobe, Study on the effect of microbubble to improve oxygen deficient water, Proc. 6th International Conference on Hydrodynamics, 2004. (発表予定)

呉 海鍾・磯部雅彦・鯉淵幸生・佐藤慎司・渡辺 晃, 三番瀬における埋立地近傍の地形と底質変化の実態, 海岸工学論文集, 第51巻, 2004. (発表予定)

藤田昌史・鯉淵幸生・Udin Hasanudin・小倉久子・藤江幸一・磯部雅彦, 東京湾における水質動態と底質微生物群集構造の解析, 海岸工学論文集, 第50巻, 996-1000, 2003.

呉 海鍾・磯部雅彦・佐藤慎司・渡辺 晃, 東京湾三番瀬の猫実川河口における底質環境の現地観測, 海岸工学論文集, 第50巻, 1046-1050, 2003.

佐々木 淳・小出摩耶子・長田正行・柴山知也・磯部雅彦, 東京湾三番瀬における微細気泡を用いた青潮水改善効果の数値的検討, 海岸工学論文集, 第50巻, 981-985, 2003.

鯉淵幸生・佐々木淳・有田正光・磯部雅彦, 有明海における水質変動の支配要因, 海岸工学論文集, 第50巻, 971-975, 2003.

Y. Koibuchi・M. Isobe, Field observation of water environment in Ariake Bay, Proc. Asia and Pacific Coast 2003, 2003.

阿部真人・佐藤慎司・磯部雅彦, 鮫川・勿来海岸流砂系における土砂動態の長期的変遷に関する研究, 海岸工学論文集, 第50巻, 561-565, 2003.