

浦ノ内湾でのマイクロバブル発生装置 の水質改善効果検証試験

A FIELD EXPERIMENT OF IMPROVING WATER QUALITY
BY MICRO BUBBLE AERATION SYSTEM IN URANOUCI BAY, JAPAN

山本 潤¹・佐伯信哉²・足立有平³・田中 仁⁴

Jun YAMAMOTO, Shinya SAEKI, Yuhei ADACHI and Hitoshi TANAKA

¹正会員 工修 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

(元(独) 水産総合研究センター 水産工学研究所)

²正会員 (株) 荒谷建設コンサルタント 四国支社技術部 (〒790-0045愛媛県松山市余戸中2-1-2)

³正会員 工修 (株) テトラ 環境事業本部営業グループ (〒108-0073東京都港区三田3-11-34)

⁴フェロー 工博 東北大学大学院工学研究科教授 (〒980-8579仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)

The effect of a new type of micro bubble aeration system for improving seawater quality in an enclosed bay was examined. The design of the system is as follows: The water inlet is set at the desired depth. The micro bubble nozzle is contained in a vertical pipe running from the surface to the same depth as the water inlet. Although normal bubbles rise in the pipe, it was expected that the water with micro bubbles would sink to the pipe outlet and then disperse widely at that depth. From the results of the field observation, it is found that the system can supply high DO water to the desired depth. The effects are estimated by the numerical model based on the field observation.

Key Words : *micro bubble aeration, anoxic water, enclosed bay, improvement of seawater quality*

1. はじめに

近年、マイクロバブル(微細気泡)に関する研究が進んでおり、海域への適用に際して東京湾¹⁾や広島湾²⁾等でその効果を検証した事例が報告されている。一方、漁港漁場の環境整備を担当する現場においても、漁港泊地の浄化や海面養殖漁場の貧酸素化対策として、マイクロバブルに対する期待が高まっている。しかし、当装置を各地に整備するためには、当施設の効果と有効範囲、悪影響等について把握し、事業の対象として適切であるか十分に検討する必要がある。

従来型のマイクロバブル発生装置は気泡を直接水域に排出しているため、①発生した気泡は全てがマイクロバブルではなく、通常のサイズの気泡も含まれており、それらが浮上する際に湧昇流を発生させる。それ自体は上下層の混合を促進するため好ましいものではあるが、浮上した分、設置水深での水平方向の広がり小さく非効率となる。また、貧酸素状態が深刻である底層への酸素供給を目的に、②装置を底面近傍に設置した場合には、強い水流がヘドロを巻き上げ周辺水域に濁りを発生させ

ることが懸念される。さらに、③強い成層状態下において、下層が無酸素状態でも過飽和となる上層で養殖を行う例が見られるが、当装置による下層への酸素供給が中間の貧酸素水塊の膨張をもたらして上層に影響を与え、かえって被害が増大する事態も懸念される。

そこで、著者らは従来型のマイクロバブル発生装置に改良を加え、表層に影響を与えずに、主に底層付近の貧酸素水塊だけを狙ってマイクロバブルを送り込み、その貧酸素状態を改善する方法を提案した。さらに、閉鎖度の高い内湾に実際に本装置を一定期間設置して、その効果と範囲、悪影響等の把握を行った。本稿では、著者らが提案した改良型マイクロバブル発生装置の特長、観測結果および留意事項等について報告する。

2. 改良型のマイクロバブル発生装置

当装置の仕組みを図-1に示す。吐出口の回りを鉛直の太い誘導パイプで囲み、底層で取水してマイクロバブルを表層付近で下向きに排出する。すると、通常の気泡は誘導パイプ内を上昇し、マイクロバブルのみを含んだ

水がパイプの下から緩やかに排出される。ここで排出された水は、元々底層で取水したものであるから、浮上せず、ある一定の水深帯に水平に広がることになる。本装置の諸元は以下の通りである。

- ・ノズル型番：バイクリーン社製 YJ-32 型ノズル
- ・ポンプ：3.7kw, Φ80mm, 200V
- ・導水量：800L/分
- ・送気量：180L/分±10%, 自然吸気式
- ・ノズルの設置水深：1.5m, 下向き
- ・誘導パイプ：Φ500mm, 長さ 10m
(水深8.0mから水面上2.0mまで鉛直に設置)

本装置を含む電力供給、取水等の一連のシステムは写真-1, 2に示すとおり、借用した養殖用の筏上に一定期間仮設し、調査終了後に回収する簡易なものである。筏上には発電機を設置した。写真-3, 4はそれぞれマイクロバブルを発生させるノズル（吐出口）および取水口である。誘導パイプを上から見た様子が写真-5であり、吐出口からマイクロバブルと同時に発生した通常の気泡が誘導パイプ内を上昇したことがわかる。写真-6は水深8mにおける誘導パイプの下端である。通常の気泡は誘導パイプ内で分離され、下端では見られない。ここではマイクロバブルを含んだ水だけが排出されている。

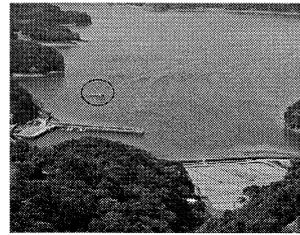


写真-1

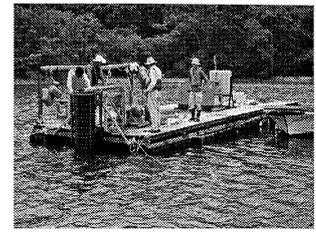


写真-2

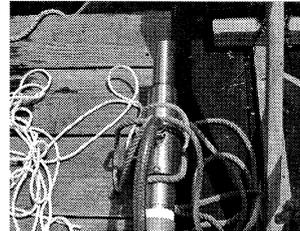


写真-3

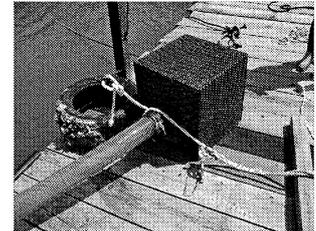


写真-4

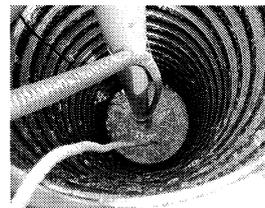


写真-5

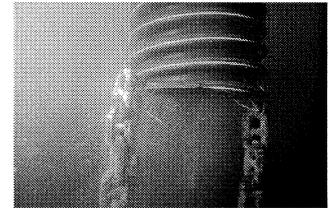


写真-6

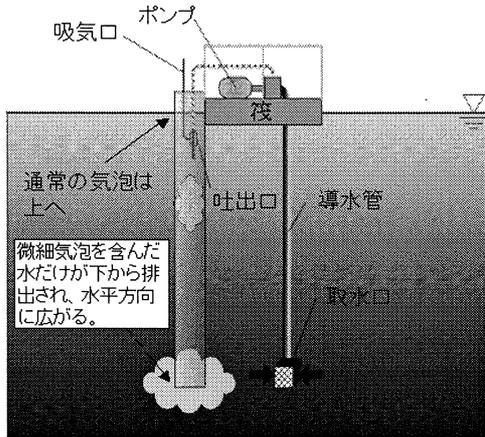


図-1 改良型マイクロバブル発生装置

3. 効果の評価方法

効果検証試験では、図-2 に示す高知県浦ノ内湾の湾奥の須ノ浦地区に筏を設置し、2005年8月10日から約3週間、当装置を稼働させた。現況把握のため、連続観測はマイクロバブル発生装置稼働の約2週間前の7月26日より開始した。図-3 の配置図の様に係留系を作成し、水温、塩分、DO、クロロフィル、濁度等の自記式の水質計及び ADCP によって観測期間中の水質変動と流況を把握した。同時に、垂下式の水質計によってマイクロバブル発生装置稼働前後の水質変化を把握した。

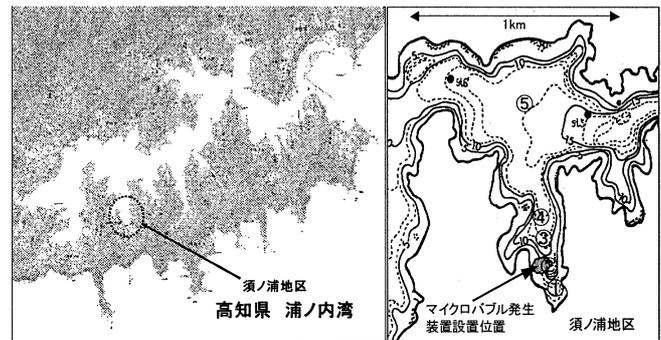


図-2 観測地点

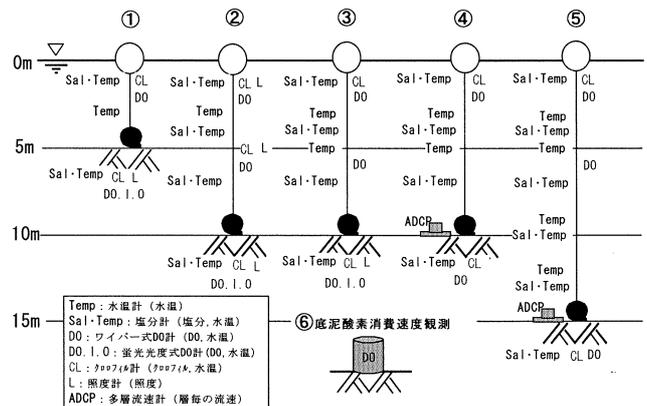


図-3 計測機器の配置

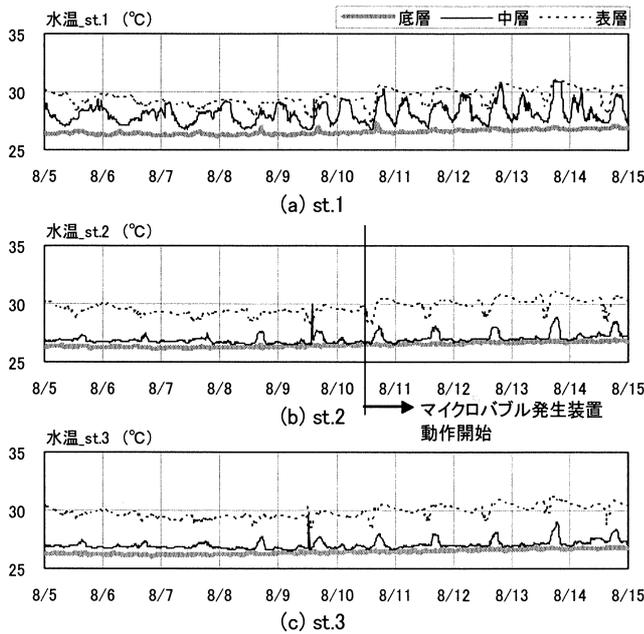


図4 水温の経時変化

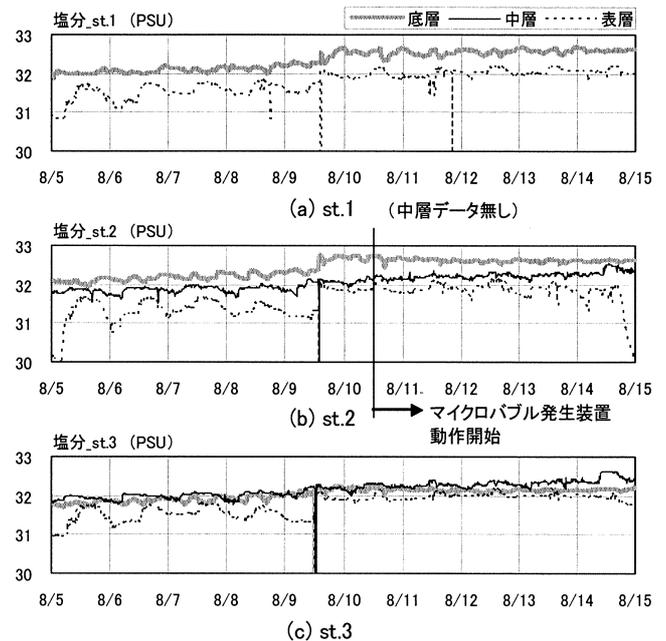


図5 塩分濃度の経時変化

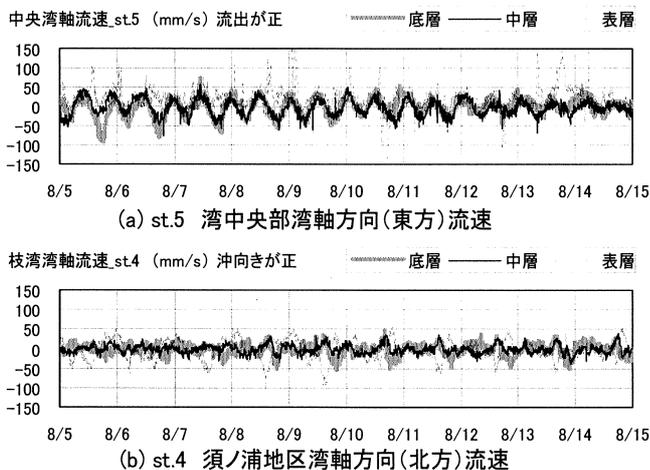


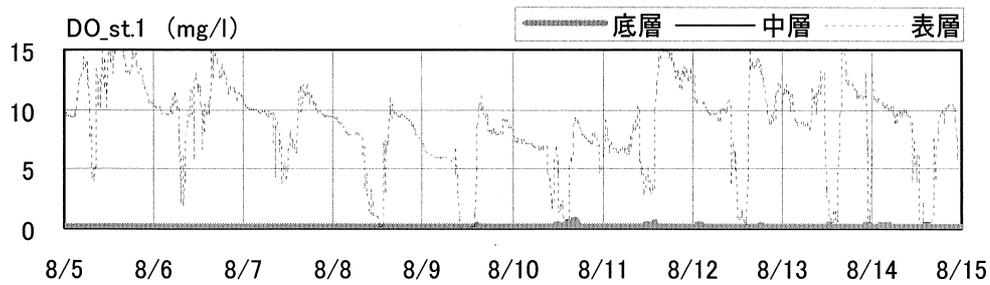
図6 流速（湾軸方向）の経時変化

溶存酸素収支については、数値計算によりその効果を評価した。計算では、佐々木ら³⁾と同様にマイクロバブル発生地点に溶存酸素のソースを加え、マイクロバブルによるDOの変動を再現した。流動場及び溶存酸素収支計算の詳細については、文献⁹⁾等を参照されたい。

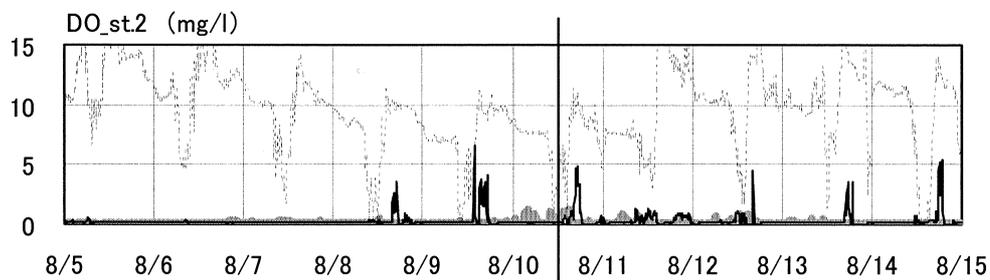
4. 観測期間中の浦ノ内湾の状況

図4～9に水温、塩分、湾軸方向流速、DO、クロロフィル、濁度の経時変化を示す。いずれもマイクロバブル

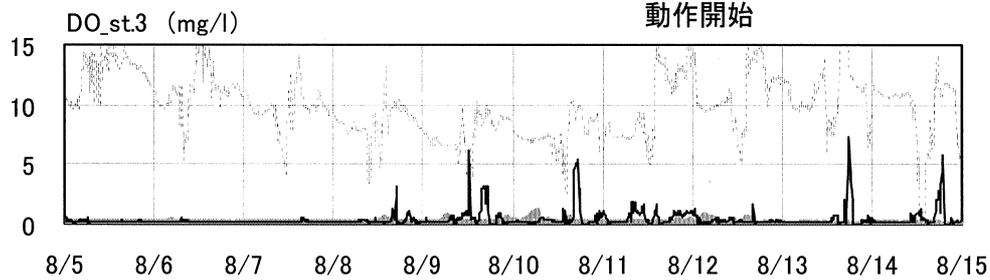
発生装置を稼働させた8月10日を挟む10日分を表示した。図中のst.1～5は、それぞれ図-2, 3の①～⑤に対応する。水温は観測期間を通じて表層で約30°C、底層で26°C程度の成層状態を示しており、水深の浅いst.1を除き、中層と底層の水温が安定し、内部潮汐は見られない。塩分濃度についても付着性物による出力低下が見られるが、外海水の侵入等による変動はないといえる。なお、8月9日正午頃には機材を引き揚げてメンテナンスを行ったため、水温や塩分データ等にその形跡が見られる。湾軸方向流速については、湾中央部のst.5で潮汐に伴う5cm/s程度の弱い流れがみられるが、枝湾入口のst.4では流速はさらに弱くなり、ほぼ止水状態であることがわかる。DOについては、表層で過飽和、中層以深でほぼ無酸素状態であった。これは観測期間中を通じて継続している。マイクロバブルを含んだ水はst.2の近傍の水深8m層で8月10日正午から供給されたが、st.2の中層(6m)、底層(10m)のDO計には全くその影響が検出されていない。それは、マイクロバブルを含んだ水が誘導パイプの上下2m以内に薄く広がったことを示唆しており、次章においてDOの鉛直分布の観測結果から確認できる。クロロフィルについては、赤潮の傾向が見られるが、マイクロバブル発生装置を稼働させた8月10日正午頃には特段の変化は生じていない。濁度についても、装置近傍のst.2で8月10日に濁度が上昇することなく、底泥の巻き上げ等の悪影響は見られなかった。



(a) st.1 (中層データ無し)

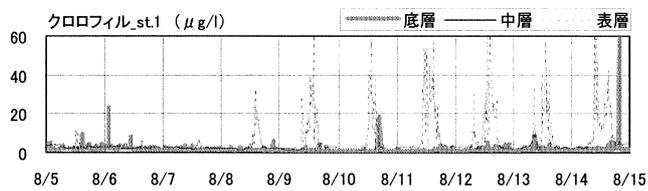


(b) st.2 → マイクロバブル発生装置
動作開始

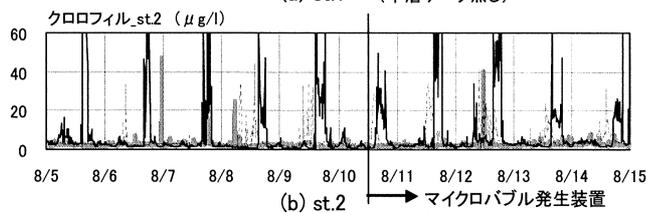


(c) st.3

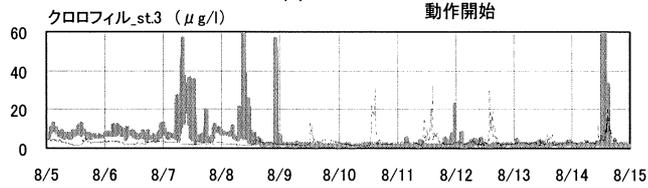
図-7 DOの経時変化



(a) st.1 (中層データ無し)

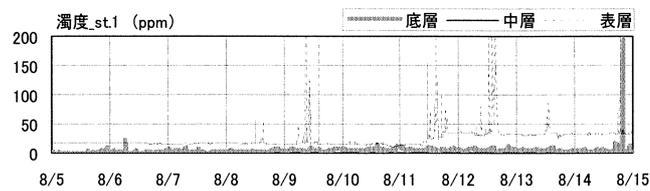


(b) st.2 → マイクロバブル発生装置
動作開始

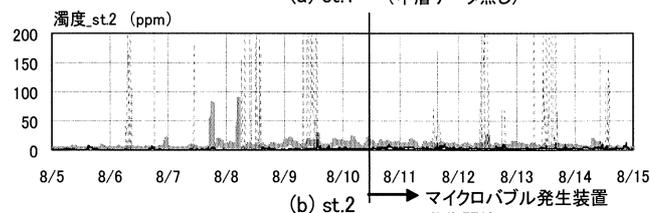


(c) st.3 (中層データ無し)

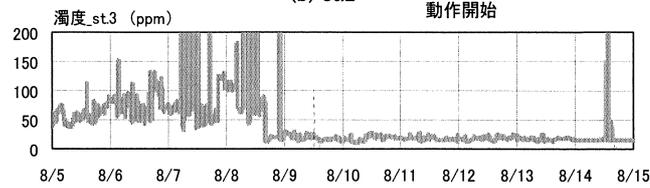
図-8 クロロフィルの経時変化



(a) st.1 (中層データ無し)



(b) st.2 → マイクロバブル発生装置
動作開始



(c) st.3 (中層データ無し)

図-9 濁度の経時変化

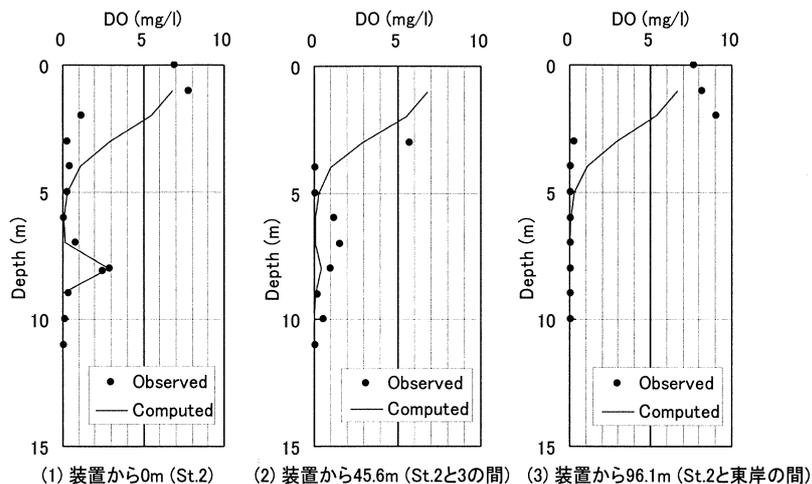


図-10 DOの鉛直分布

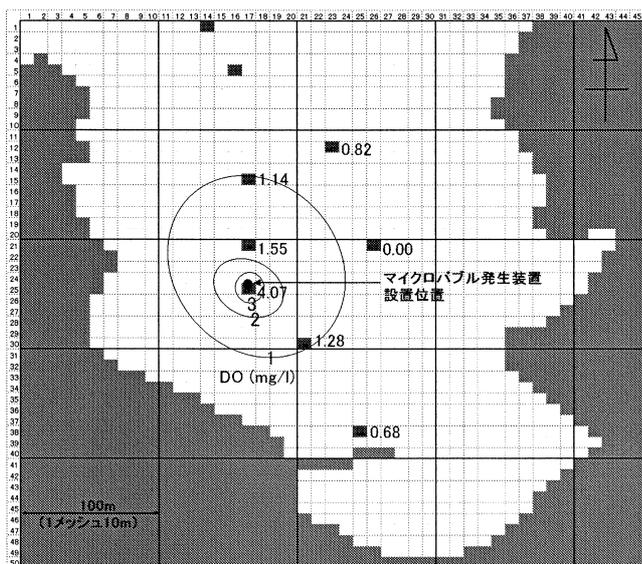


図-11 水深8m層でのDOの平面分布 (8月11日)

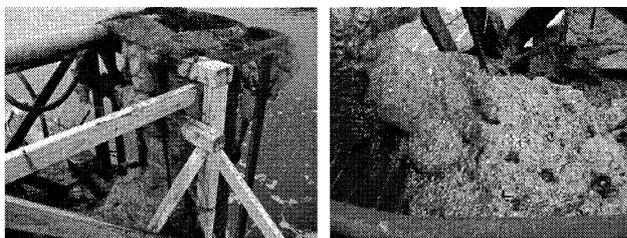


写真-7

写真-8

5. 効果調査の結果と考察

図-10にマイクロバブル発生装置稼働後のDOの鉛直分布を示す。装置から十分離れたマイクロバブルの影響を受けない地点(3)では、表層で過飽和、3m以深が無酸素の状態であった。装置近傍の(1)では、誘導パイプ下端の水深8m層でDOが上昇しているものの、他の水深帯にはあまり影響しておらず、当マイクロバブル発生装置に

よって、狙った水深帯への酸素供給が可能であり、最も有機汚濁の進行している底層の浄化に寄与できることがわかる。同時に、本装置によるDOの変化が計算によって再現されていることがわかる。図-11は水深8mでのDO観測値の平面分布のコンター図である。比較的小規模の装置を用いているため、その影響範囲は限定されるが、無酸素状態であった水深帯にその効果が現れていることがわかる。ただし、無酸素状態からのDOの上昇は装置近傍においても3~5mg/l程度のため、貧酸素の極めて強い水域の漁場化には限界がある。その影響範囲は、鉛直方向に1mの厚さで広がると仮定すると、導水量が800L/分であることから、1152m²/日で広がることになり、1日で半径19m、10日で60m程度と算出される。このため、公共用水域全体を対象に浄化を図るには、当装置を相当な規模で展開しなければ広範な効果が得られにくい。

また、写真-7、8に示す様にスカムが発生し、悪臭を放つという問題が生じる。本装置では、底層の汚濁水を取水しているため、マイクロバブル発生と同時にスカムも発生した。スカム (scum) は、下水中の有機物が腐敗、発酵することにより発生するガスによって、排水中の懸濁物質、繊維質、油脂質、細菌が浮上して、水表面にできるスポンジ質の厚い膜状の浮きカスをいう。スカムの発生は、水域の浄化の一過程と捉えることもできるが、悪臭や景観、衛生上の観点から除去・処理を行う必要がある。特に、取水地点の水質が極めて悪い場合には注意が必要である。今後、水産関係事業で当装置を整備する際には、その旨検討する必要がある。

一方、底面直上を狙ってそのDOを上昇させた場合、底泥からの栄養塩溶出を抑制する効果が算出できる。細川ら⁹⁾が提案した栄養塩溶出と直上水のDOとの関係式を用いて大阪湾泥のケースを適用すれば、栄養塩溶出速度が40mg/m²/dが22mg/m²/dへと45%低減できると算出された。この底泥からの栄養塩溶出を抑制する効果は、

本装置が底層を狙って酸素を供給できることから期待できるものである。ただし、底泥中に白点虫のシストが大量に存在する場合には、思わぬ水産被害が生じることもありうるので注意が必要である。

6. おわりに

本研究の主要な結果は以下の通りである。

- ・水質改善対策の一例（マイクロバブル）について、現地において実証試験を行い、詳細なデータを取得した。これにより、当施設の特長、効果、影響範囲、留意事項等が明らかとなった。

- ・水質改善対策の効果予測計算の試算結果を観測値によって検証することができ、計算の精度向上が図られた。

- ・新型マイクロバブル発生装置は、通常の気泡とマイクロバブルを分離させて中層以深の貧酸素水塊を狙って酸素を供給することを目的に改良しており、観測によってそれが達成できていることを確認できた。しかし、当装置単体ではその効果は弱く、影響範囲も狭いものであった。実際に公共事業として当施設を整備するとすれば、装置の数、規格等をさらに大規模に展開することとなる。仮に施設規模が本調査で使用したものと同程度であれば、個人の生け簀程度の範囲が対象となる。

その他、気づいた点を列挙すると以下の通りである。

- ・マイクロバブルを含んだ水は、それが発生する時に酸素が供給されて溶存酸素濃度が高くなるが、その後、その水はマイクロバブルが含まれているにもかかわらず、溶存酸素濃度の上昇、維持に寄与していないものと思われる。このことは、佐々木ら³⁾も指摘している。原因として、マイクロバブル中の酸素が既に消費され、窒素の割合が高くなっている可能性もある。これについては、引き続き検討する必要がある。

- ・当マイクロバブル発生装置は空気を取り入れているが、純酸素を用いた場合の効果はさらに高いとの報告⁶⁾が見られる。当装置と組み合わせて高濃度の酸素の底層への供給は貧酸素化の改善に大きく寄与すると考えられるが、高濃度酸素が魚類に直接接触した場合の影響については検討が必要である。また、純酸素という消耗品またはそれを生成するプラントが必要となり、当該補助事業の対象として扱うことは困難である。

- ・図-10 では、水深 3m 以深が無酸素状態であることが確認できる。マイクロバブルによる対策の他に、水深 3m 以浅の好気的な浅場を造成し、漁場化を図る方法も考えられる。

- ・当装置単体では影響範囲が狭く、スカムが発生すること、また、電源確保の必要性を考慮すると、漁場で用いるよりも漁港泊地で用いる方が有利であると考えられる。

漁港泊地に設置すると、水域が限られているため効果が得られやすいこと、発生したスカムを荷捌き所の排水とともにまとめて処理できること、電源確保が容易であること、比較的清浄な港外水を取水しやすいこと等が期待できる。

- ・これらの問題点は、実際にその工法の仮設工事を行って現地でデータを取得したため、事業実施前に把握することができた。今後、対策を検討することとなる。

- ・本研究の成果は水産庁の「自然エネルギーを利用した水域環境改善事業」検討委員会において活用され、引き続き事業化に向けた検討が行われる。

謝辞： 本調査・研究は、数値計算や理論の基礎部分が運営費交付金「閉鎖性水域における流動・水質変動機構の定量的評価手法の開発」、現地観測等の現場応用的部分が水産基盤整備調査費委託「漁港水域における水質・底質改善技術の開発」により行われた。

本調査を進めるにあたり、高知県水産試験場の安藤部長をはじめ多くの方々及び須崎市産業課には多大なる協力を頂いた。深浦漁業協同組合には、本調査の実施に御理解を頂くとともに、湾内でのマイクロバブル発生装置の稼働や観測機器類の大きな設置など、貴重な水面を利用させて頂いた。現地観測実施においては、水産工学研究所水理研究室新井雅之の研究員、(株)荒谷建設コンサルタント四国支社田中支社長をはじめ同社の方々の協力を得た。紙面にて心よりお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 鯉淵幸生、磯部雅彦、佐々木淳、藤田昌史、五明美智男、栗原明夫、田中真史、Mohammad Islam、鈴木俊之：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、pp. 1156-1160, 2004.
- 2) 大成博文、前田邦男、松尾克美、山原康嗣、渡辺勝利、石川並木：マイクロバブル技術によるカキ養殖効果、水工学論文集、第 46 巻、pp. 1163-1168, 2002.
- 3) 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発生装置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、pp. 981-985, 2003.
- 4) 山本潤、田中仁、高崎みつる、佐伯信哉：志津川湾における貧酸素水塊の発生と台風通過後の西風に伴う水質変動、水工学論文集、第 50 巻、pp. 1399-1404, 2006.
- 5) 細川恭史、三好英一、堀江毅：栄養塩溶出速度の温度・DO 依存性について、港湾技研資料、No. 405, 39p., 1981.
- 6) 片倉徳男、上野成三、大谷英夫：酸素飽和度 200% の高濃度酸素水を発生する装置の開発、海岸工学論文集、第 52 巻、pp. 1116-1120, 2005.