

平成 21 年 5 月 27 日現在

研究種目： 基盤研究 (C)

研究期間： 2007~2008

課題番号： 19580202

研究課題名 (和文) ソーラー・シーオアシスの開発

研究課題名 (英文) Development of an improving system of bottom hypoxia in estuaries

研究代表者

石丸 隆 (ISHIMARU TAKASHI)

東京海洋大学・海洋科学部・教授

研究者番号： 90114371

研究成果の概要：

内湾域で夏期に発生する底層貧酸素化現象を改善するための方法を検討した。表層の高酸素水を底層に導入する方法と高密度の底層水をくみ上げ、マイクロバブルを添加して、再度底層付近に注入する方法を試みた。後者により、底層付近の溶存酸素濃度を上昇させることができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野： 農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード： 水圏環境・保全

1. 研究開始当初の背景

内湾部では、夏期に底層が貧酸素化し底層生物が死滅する。この現象を改善するための方法は各種開発されているが、何れも成果を上げていない。

2. 研究の目的

局所的に貧酸素状態を改善し、貧酸素水塊内に生物の生育可能な場所を造る。

3. 研究の方法

(1) 表層水を底層に送り込むことによる改善法

本装置は、係船場の底層では夏に貧酸素状態となるが、表層には 5 mg L^{-1} 程度の DO が

存在することに着目し、表層水を底層に送り込む方法をとった。

装置は水中ポンプ (マキタ製)・浮き・取水口から成る上部と、表層水放出孔・囲いから成る下部、上部と下部をつなぐホースで構成されている (図 1)。上部は海面に浮いており、深度 20 cm 付近の水を取水する。取水された表層水は下部のパイプに横向きに開けられた孔から、着底している囲い中に放出される。取水口は直径 60 cm のザルを用いた。装置の各部分の仕様は以下の通りである。

装置サイズ

上部 (フレーム) 100 cm × 30 cm

下部 (囲い) 100 cm × 100 cm × 60 cm

フレーム材質

SUS304 (囲い部分にはさび止め塗装を施した)

ポンプ

最大流量 100 L min⁻¹
消費電力 340 W
定格出力 150 W
定格電圧 AC100 V

ホース

内径 10 cm
長さ 5 m

表層水放出孔

孔径 3.5 mm
孔数 208

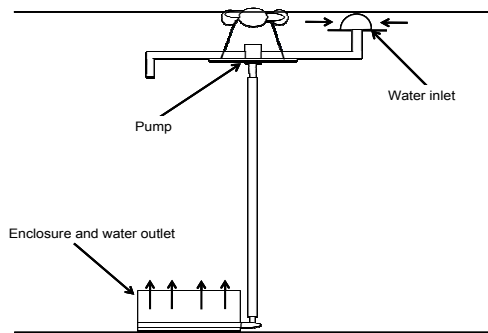


図1 装置概要図

①2007年8月13日-9月17日

装置を係船場に設置し稼働させた。装置下部の囲い内に、多項目水質計 (600OMS-ROX, YSI 製) を、囲い南端から 60 cm 南の地点に水温塩分計 (CompactCT, アレック電子製) と溶存酸素計 (Compact Optode, アレック電子製) を設置し、装置稼働期間中に水温、塩分、DO を 10 分ごとに測定した。設置深度はともに海底直上 10-20 cm である。また、多項目水質計 (AAQ1183, アレック電子製) を用い、ほぼ毎日 1 回、14 時 30 分前後に取水口直近の水温、塩分、DO を測定し、水温と塩分から σ_t を求めた。

また、放出水の動態を調べるために多項目水質計 (AAQ1183, アレック電子製) を用い、図 2 に示す 9 点で海面直下から海底直上までの水温、塩分、DO を測定し、水温と塩分から σ_t を求めた。

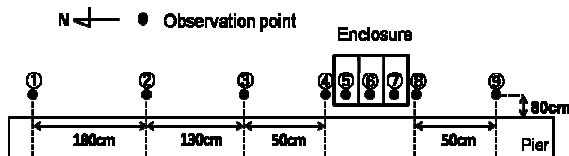


図2 観測地点

②シミュレーション

放出水の挙動のシミュレーションに関しては、熱流体解析ソフトウェア FLUENT6.3 (ANSYS) を使用した。計算領域は x 軸方向に 4.2 m, y 軸方向に 4.2 m, z 軸方向に 9 m とし、10 cm × 10 cm × 10 cm の立方体メッシ

ュを敷いた。支配方程式は、運動方程式と連続式を用い、乱流モデルは標準 k-ε 乱流モデルを使用した。初期条件として装置稼働前に現場にて観測した海水の密度分布を与え、入口条件として、底層の表層水放出部 (1 m × 1 m) から y 軸海面方向にポンプの流量から求めた流速 0.002 m s⁻¹ で表層水を放出させた。出口条件は、最上部 20 cm を出入り自由とし、その他は出入りのない壁とした。

(2) マイクロバブルによる改善法

装置概要

本装置は本体 (ポンプ、空気吸引口)、マイクロバブル発生ノズル (ノズル)、取水口、本体と取水口、本体とノズルをつなぐホースから成る (図 3)。取水口側のホースと本体の間に流量計 (SPX-075, ハイテック製) とバルブを、空気吸引口に流量計 (RK-1650, コブロック製) を取り付けた。本体は鉄製のアングルで製作した架台の上に置いた。本装置はストレーナー付の取水口からポンプにより水をくみ上げ、本体の空気吸引口から空気を吸引する。吸引された水と空気はホースを通じてマイクロバブル発生装置へ送られ、マイクロバブル (直径 0.5-3 μm, メーカー公表値) と水がノズルから放出される。装置の仕様は以下の通りである。

発売元	(株) ホルス
名称	ワンダフリー
バブル発生方式	超高速旋回方式
定格電圧	100 V
消費電力	370 W
本体サイズ	30 cm × 38 cm × 30 cm
本体重量	約 14.5 kg
ホースの長さ	10 m

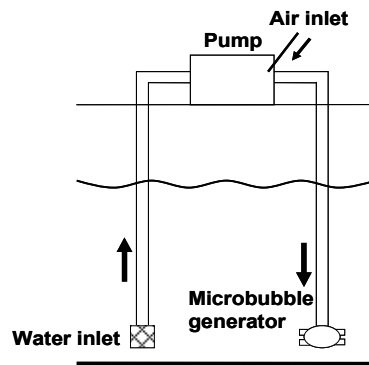


図3 装置概要図

①気泡径撮影

海水を満たした水槽内 (28 cm × 58 cm × 34 cm) で気泡を発生させ、奥行き 2 mm, 幅 20 mm の流路内を通る気泡をカメラ (Pixelfly Family, PCO.Imaging 製) で撮影した (図 4)。その際の空気流量は 0.1-1.0 L min⁻¹ である。得られた画像からそれぞれ

の空気流量ごとに気泡の直径と個数を求めた。

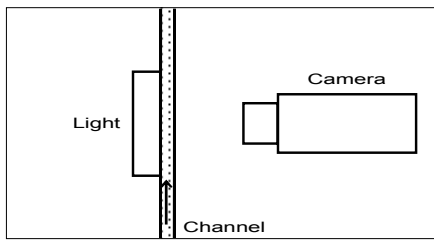


図4 気泡径撮影時の体系

②2008年7月31日－8月26日

本装置が、気象や潮汐などの環境条件が異なっても、底層でのDOが上昇することを立証するために、装置を24時間稼働させ、稼働前と稼働後を比較した。計9回のデータについてそれぞれ稼働後から稼働前の値を引き、それらの平均を求め装置の効果を評価した。空気流量は気泡撮影結果から 0.2 L min^{-1} とした。

本体は係船場の岸壁上に設置し、ホースを壁面より約80cm離れた海中に垂らし、取水口とノズルが海底直上約30cmに位置するようにした。多項目水質計(AAQ1183, アレック電子製)を用い、図5に示す6点で海面直下から海底直上まで水温、塩分、DOを測定し、水温と塩分から σ_t を求めた。測定は最も北に位置する1から2, 3...6という順番で行った。ノズルの設置位置は3である。

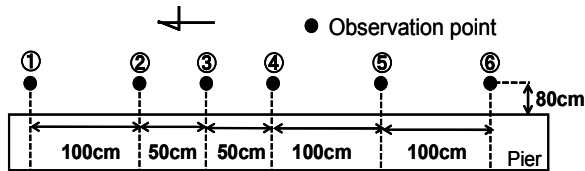


図5 観測地点

③2008年10月22日－11月19日

②の結果をふまえ、マイクロバブルの効果をより明らかにするために、装置のまわりに囲いをつけて実験を行った。囲いは円柱形で、直径125cm、高さ300cmとし、ブルーシートと塩ビ管で作成した。装置は約1ヶ月間稼働させ、観測は囲い内と囲い外の計2地点で行った。空気流量は②と同様 0.2 L min^{-1} とした。

4. 研究成果

(1) 表層水を底層に送り込むことによる改善法

①2007年8月13日－9月17日

装置囲い内のDOは $0-4.62 \text{ mg L}^{-1}$ の間で変動した(図6上)。平均値は 1.10 mg L^{-1} であった。囲い外のDOは $0-2.58 \text{ mg L}^{-1}$ 、取水口直近のDOは $1.95-6.92 \text{ mg L}^{-1}$ の間で変動した。囲い外のDOが低い場合には、

取水口のDOが高い状態であっても、囲い内のDOは低いままであった。これは囲い内が表層水で満たされることはなく、底層水と表層水が混合した水が囲い内に存在していたことを示している。囲いの内と外のDOの差の最大値は 3.37 mg L^{-1} 、最小値は -1.29 mg L^{-1} 、平均値は 0.91 mg L^{-1} であった(図6下)。この値は取水口のDOとよく対応していた。

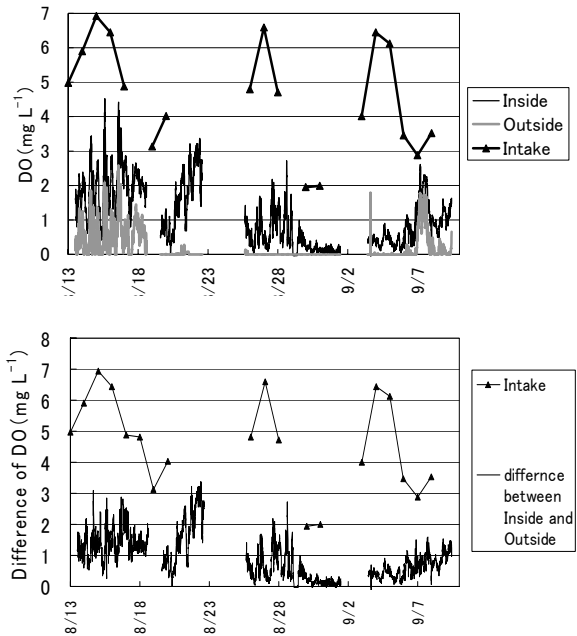


図6 装置稼働中のDOの経時変化(上)と装置内外のDO差の経時変化(下)

装置を稼働する前の8月13日には、DO、 σ_t ともに水平方向に様な分布を示しており、深度が増すほどDOは減少し、 σ_t は増加していた(図7実線は囲いを示す。以下の図でも同様)。

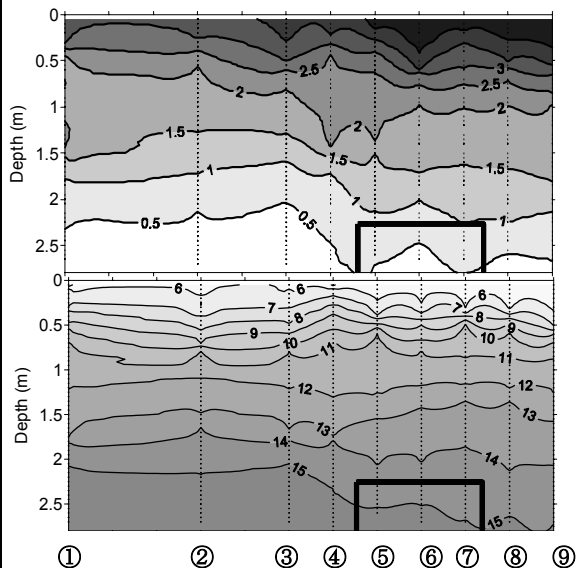


図7 装置稼働前のDO (mg L^{-1} 上)と σ_t (下)の空間分布

装置稼働中(9月3日)の囲い内のDOは、同深度の囲い外の値よりも高くなり、囲いの上方で水平方向に均一な値となっていた(図8)。囲い外の海底直上ではDOの上昇はみられず、本装置による貧酸素改善効果は得られなかった。囲い内で他の地点の同深度よりも低い σ_t が観測され、表層水が囲い内に放出されている様子が確認された(図8)。放出された表層水は底層水よりも密度が低いため、底層水と混合しながら上昇し、周囲と密度が等しくなる層(深度3-3.5 m)まで達すると、等密度面に沿って水平方向に広がっているものと考えられる。係船場では上下層の密度差が大きく、放出された表層水は底層水と混ざりにくく、また、速やかに上層に運ばれるため効果が表れにくいものと考えられる。

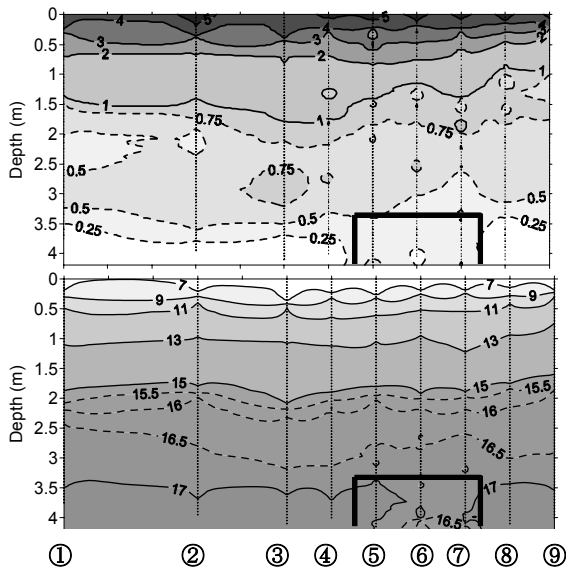


図8 装置稼働中のDO (mg L⁻¹ 上) と σ_t (下) の空間分布

②シミュレーション

計算後の密度分布は、放出した表層水が鉛直上向きに上昇している分布を示した(図9)。入口から放出された水の軌跡から、放出された表層水が鉛直上向きに上昇し、水平に広がっていることが確認でき、放出水が徐々に速度を上げながら細い筋となり上昇していた(図10)。

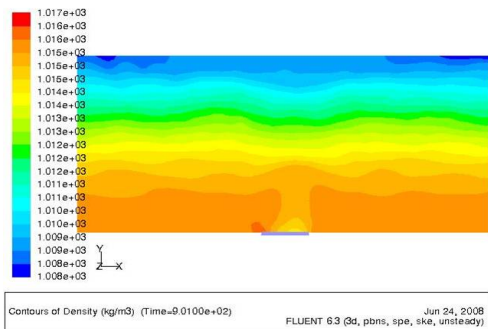


図9 鉛直断面密度分布

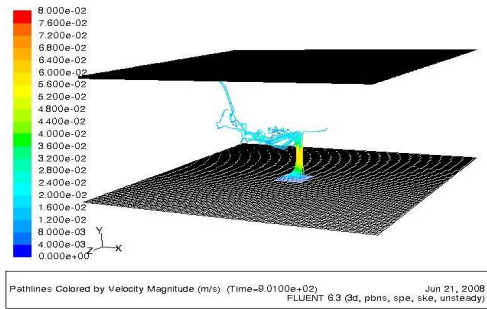


図10 放出水の軌跡

観測値と比較しても、観測結果の傾向を十分に模擬した結果となった(図11)。現場観測においてDO上昇の範囲が放出部の直近のみであったのは、放出水の動態によるものと考えられる。

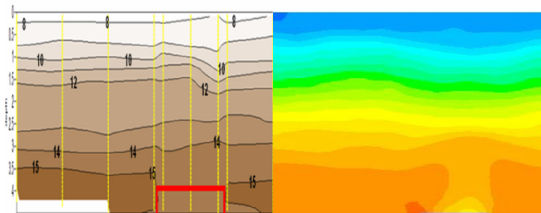


図11 現場観測値(左)とシミュレーション結果(右)の密度分布

(2) マイクロバブルによる改善法

①気泡径撮影

気泡撮影のピークは空気流量 0.1, 0.5 L min⁻¹において 20-25 μ m, 0.2, 0.3 L min⁻¹において 25-30 μ m, 1.0 L min⁻¹において 100 μ m 以上であった(図12)。1.0 L min⁻¹以外では、気泡径のピークは 30 μ m 前後と似ていたが、空気流量が増すほど、100 μ m 以上の大きい気泡の数が増加した。

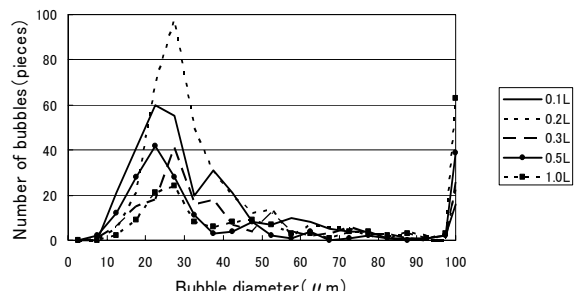


図12 各空気流量における気泡径分布

②2008年7月31日-8月26日

装置稼働後では、表層付近でのDOの変化に関係なく、底層でわずかではあるがDO上昇が確認された(図13 ●はノズルを示す。以下の図でも同様)。特に、ノズル直近での上昇が大きかった。図14より、密度線は横方向に伸びていることから、マイクロバブルが溶け込んだ海水は上昇することなく、横方向に広がっていることが示唆される。しかし、

マイクロバブルの注入により底層水の DO の上昇はみられなかった。これは、海水と底泥による酸素消費が大きいと考えられる。

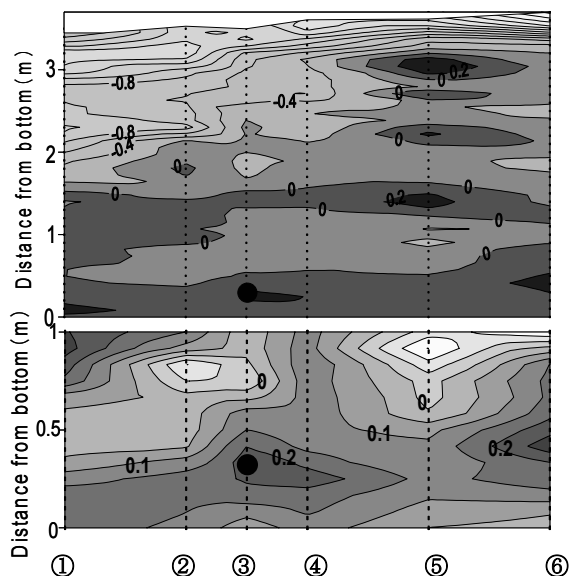


図 13 平均 DO の鉛直断面図
(mg L^{-1} 上：全層，下：海底直上 1 m)

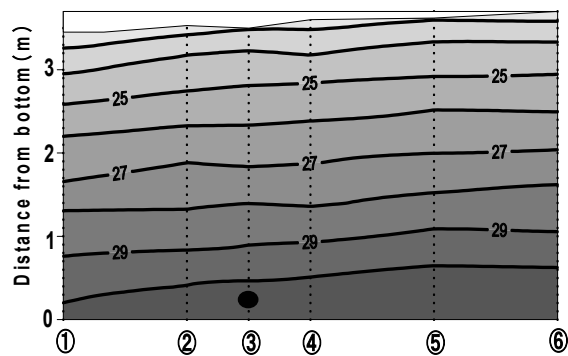


図 14 平均密度の鉛直分布

③2008年10月22日-11月19日

実験期間中の平均海水流量は 13.0 L min^{-1} であった。ただし後半はモーターが磨耗してしまい海水が漏れていたため、流量は少なくなったと考えられる。

底層の DO 上昇は全ての観測日においてみられた(図 15 オレンジのラインがノズル設置深度)。これより、マイクロバブルの溶け込んだ海水は上がることなく、底層に広がっていたことがわかる。しかし、装置を停止して約 18 時間後に観測したところ、効果は残っていなかった。マイクロバブルの効果を明らかにするためには、海水の酸素消費速度を求めることが必要であると考えられる。

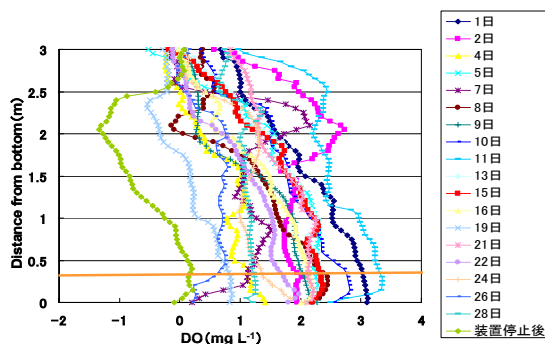


図 15 各観測日における DO 上昇値 (mg L^{-1})

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 小島諒子、遠矢亮、石丸隆、賞雅寛而、川上啓介、大塚和臣、東京海洋大学品川キャンパス係船場の環境特性と貧酸素水塊改善の試み、東京海洋大学研究報告、5、29-44、2009、査読有
- ② 神田穰太、チョムタイソンパチャラー、堀本奈穂、山口征矢、石丸隆、東京湾 2 定点における栄養塩類濃度の経年変動、水環境学会誌、31、559-564、2008、査読有

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石丸 隆 (ISHIMARU TAKASHI)
東京海洋大学・海洋科学部・教授
研究者番号：90114371

(2) 研究分担者

賞雅 寛而 (TAKAMASA TOMOJI)
東京海洋大学・海洋工学部・教授
研究者番号：20134851

波津久 達也 (HAZUKU TATUYA)
東京海洋大学・海洋工学部・准教授
研究者番号：60334554

(3) 連携研究者

なし