

生態系モデルによる生物の生息に適した港内水質環境維持のための 導水方法に関する検討

中西 敬* ・中山 哲巖** ・鹿田 正一***
佐見 誠**** ・大西 晶***** ・安田 淳*****

1. 緒 言

特定第 3 種漁港である島根県浜田漁港は、日本海沿岸漁業の中核漁港として発展してきたが、近年のマイワシをはじめとする漁業生産量の減少や水産物の流通形態の変化により当漁港を取り巻く水産業は非常に厳しい状況となっている。このような現状に対応すべく、浜田地区においては、平成 2 年に新マリノーション拠点漁港漁村整備地区の指定を受け、栽培漁業及び流通加工拠点の形成を目指した施設の整備が進められている。

浜田漁港内の瀬戸ヶ島地区においては、約 7 ha の埋立とともに、延長 160 m の北防波堤と 250 m の西防波堤が計画されている。それらによって囲まれる静穏な港内水域において、魚類の中間育成（人工的に産卵孵化させた仔魚を放流に適した一定の大きさになるまで一時的に飼育すること）や蓄養（水揚げもしくは他の地区から運搬した活魚を加工するまでの一定期間海面の生け簀において飼育すること）が検討されている。

これらの計画を実現し、地域の水産業の活性化に資するためには、港内水域を水産有用生物にとって好適な環境条件に保つことが不可欠である。

港内の水域は生け簀の係留や船舶の作業に適した静穏性を確保する必要から、3 方向が護岸や防波堤で囲まれ閉鎖性が強くなる。また、港内で蓄養する魚に与える餌が負荷となり、水質や底質の悪化が懸念される。特に、海中に懸濁・沈降もしくは海底に堆積する残餌（有機物）等が分解される際に多量の酸素を消費し、海中の溶存酸素（以下 DO と記す）の低下を招くとともに、飼育される大量の魚自身が酸素を消費することにより、港内が貧酸素化することが懸念される。

筆者らは、閉鎖性が強く、比較的容量が小さな港内に、負荷を与え続けた場合の水質変化を生態系モデルを用いて予測した。また、予測される水質の悪化を未然に回避

し、港内を魚の生育に適した環境に維持するために必要な海水導水量及び導水深度について検討した。

生態系モデルについては、栄養塩類、有機物並びに動物植物プランクトンによって構成される低次栄養段階の生態系モデル（以下低次生態系モデルという）に、高次栄養段階の生物である“魚”を組み込んだモデル（高次生態系モデルという）を構築し、DO を指標に検討を行った。

なお、DO の管理値としては、生け簀のハマチが危険な状態になる（柳，1989）3 ml/l を限界値とした。

2. 現地調査

港内水域のモデル化を図るに当たり、図-1 に示す 5 地点において平成 10 年 9 月 3 日～19 日の間に、水質の連続測定、鉛直分布の測定、明暗ビンを用いた DO の生産・消費試験等（表-1）を実施した。

調査の結果から、将来的に港内水域となる st. 4 と、比較的水質が悪化した港奥の st. 5 において、DO の鉛直分布の日内変動（図-2）、明暗ビン内 DO の日内変動（図-3）、さらには植物プランクトン量（図-4）に違いが見られた。このことから、外部からの負荷が水域内の DO の生産、消費のメカニズムに影響を及ぼすことが示唆された。

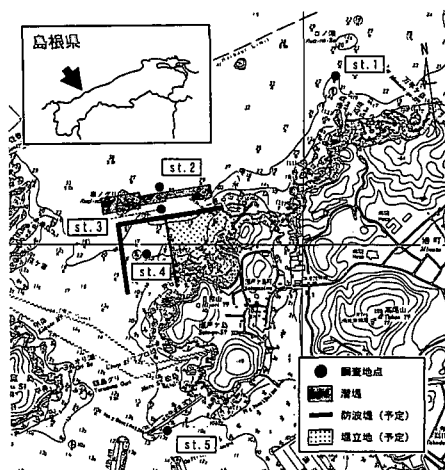


図-1 漁港計画図及び調査地点図

* 正会員 (財) 漁港漁村建設技術研究所
** 正会員 工修 水産庁水産工学研究所
*** 正会員 (財) 漁港漁村建設技術研究所
**** 正会員 工修 (財) 漁港漁村建設技術研究所
***** (財) 漁港漁村建設技術研究所
島根県浜田水産事務所

表-1 現地調査の内容

区分	調査項目	調査方法	実施場所
水質連続観測	水温, 塩分, DO	・メモリー式水質計による15昼夜連続観測 ・表底層の2層	st. 1, 2, 4, 5
水質鉛直分布調査	水温, 塩分, DO	・メモリー式STD ・ポータブルDOメーターによる船上測定 ・鉛直方向0.5mピッチ	st. 4, 5
採水分析	COD 全窒素 硝酸態窒素 亜硝酸態窒素 アンモニア態窒素 全リン リン酸態リン SS 植物プランクトン	・バンドーン採水器による船上採取 ・表底層の2層	st. 4, 5
明暗ビン試験	明暗ビン内のDO	バンドーン採水器による船上採取 ウインクラ法によるDO分析	st. 4, 5

*表層は海面下1.5m, 底層は海底上1.0m

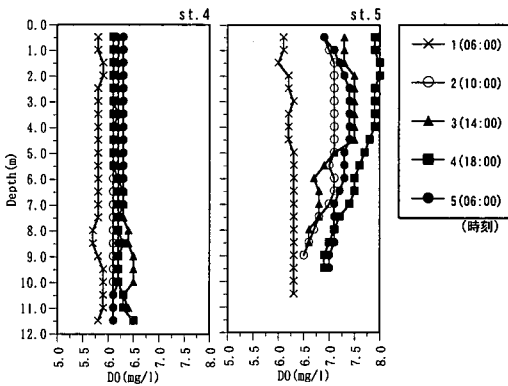


図-2 DO鉛直分布の日内変動

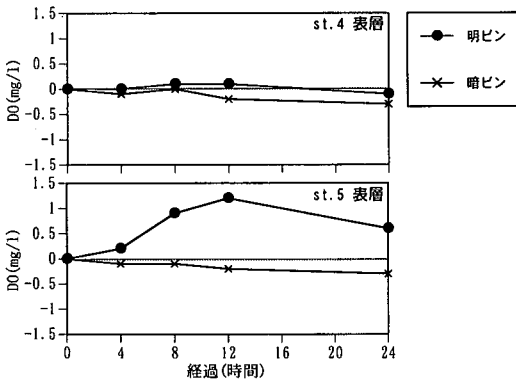


図-3 明暗ビン試験結果

3. 高次生態系モデルの構築

3.1 モデルの概要

蓄養による影響を解析するため、低次生態系モデルに蓄養対象魚を組み込み、養殖魚の代謝をはじめ残餌の分解や沈降・堆積を考慮したモデルを構築した。解析で対象とする物質循環過程を図-5に示す。

また、蓄養水面は南側開口部が水深10m, 北側最奥部が20mの場所に計画されており、港奥に向かって水深が深くなる。こうした地形上の特徴を再現するため、鉛直層分割を10層(2mピッチ)とし、第5層までを海水交換層とみなした(図-6)。

なお、各物質の変化は以下の式により評価した。

$$\frac{\partial}{\partial t}(V \cdot B) = Q_{in} \cdot B_0 - Q_{out} \cdot B + F_{in} + V \cdot \frac{dB}{dt}$$

ここで、 V は海域の体積、 B は防波堤内の水質濃度、 B_0 は沖合の水質濃度、 Q_{in} 、 Q_{out} は海水交換、 F_{in} は陸域からの負荷、 dB/dt は生物化学過程による変化を表す。

開口部での海水交換量については、別途実施した3次元モデルによる海域流動解析結果から求めた。

海水導水工による水質の変化を解析する際のバックグラウンドとなる外海域の水質については、浜田港環境調査報告(島根県水産試験場, 1978)を基に正弦関数で近似した。

3.2 蓄養に関わる諸元

蓄養魚の重量や時期等については、島根県魚連が行っている蓄養事業の実績を基に設定した(図-7)。

水域への負荷として最も大きな影響を及ぼす餌の量は、水温や魚体重に応じた標準給餌率(松下, 1997)を基に、蓄養魚重量と水温から求めた(図-7)。

給餌後の摂餌、分解、沈降・堆積の過程については、ハマチ養殖場における餌の過程(田中, 1977)に基づき、図-8のように設定した。

陸上施設からの排水負荷については、ヒラメの中間育成施設からの排水を考慮した。埋立地の利用計画では生活系の排水は港内に放流されないことになっている。

3.3 酸素消費に関する諸元

蓄養される魚の酸素消費速度は、体重と水温に依存すると仮定し、マガイのサイズ別・水温別酸素消費量(本間他, 1990)を参考に設定した。

海底に堆積した残餌及び糞の分解に伴う酸素消費については、プリ・マガイ養殖における残餌や糞の代表的な酸素消費速度(門脇, 1989)を参考に、水温と堆積量に依存した指数関数式で近似した。

3.4 導水工による海水導水

港内に防波堤の外側の海水を導水する工法としては、模型による性能実験の結果等により選定された円孔式導

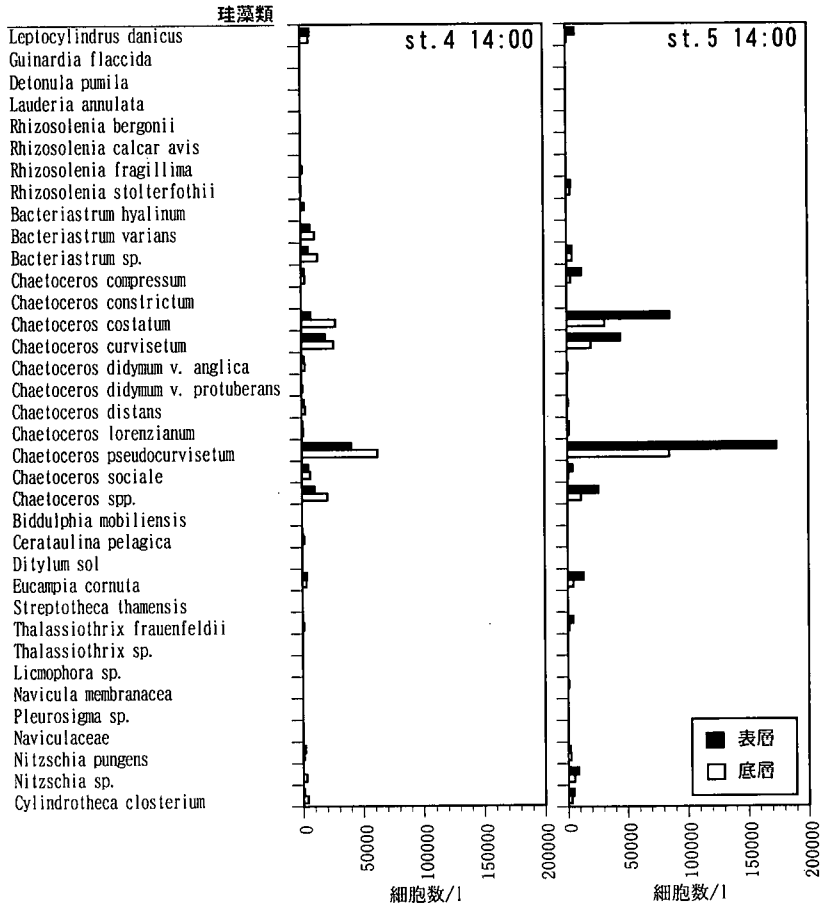


図-4 植物プランクトン調査結果

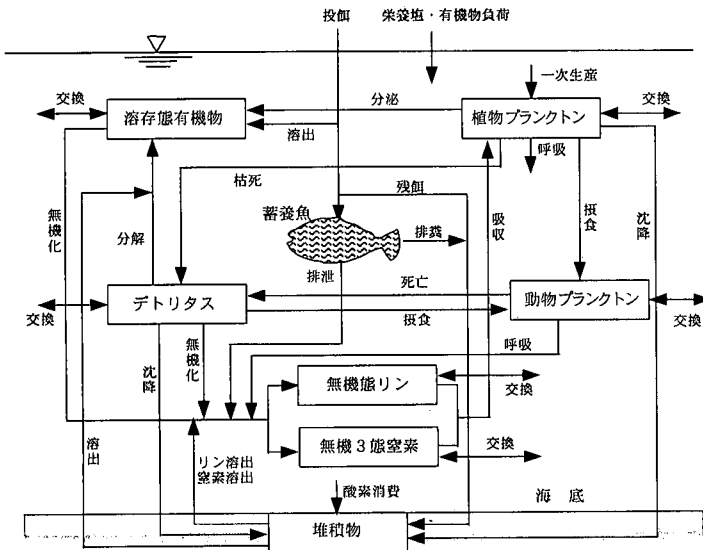


図-5 解析の対象とした物質循環過程

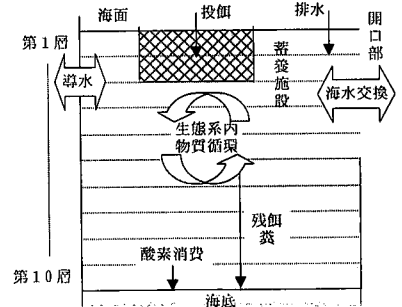


図-6 ボックスモデルの概要

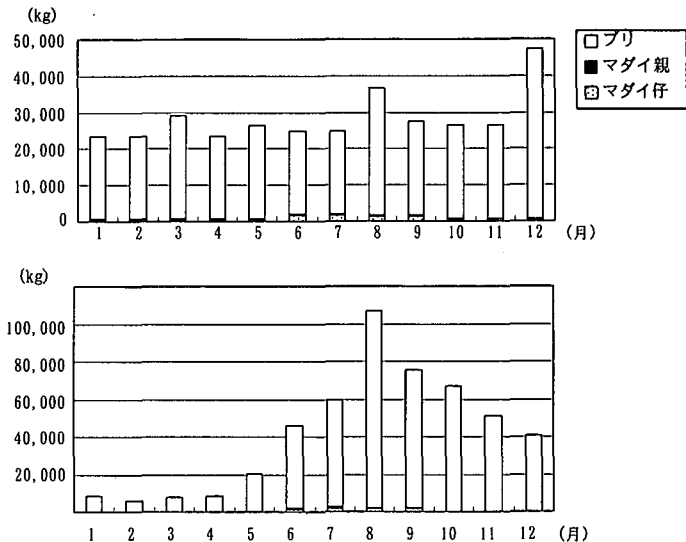


図-7 月別蓄養量と給餌量 (上:蓄養量, 下:給餌量)

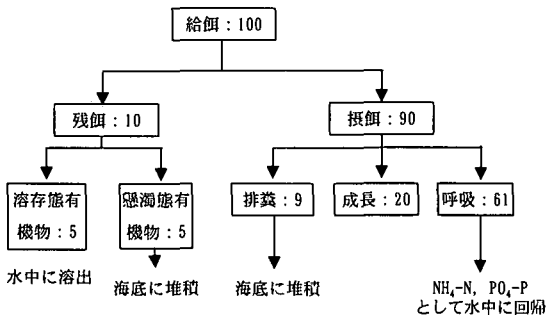


図-8 給餌後の過程

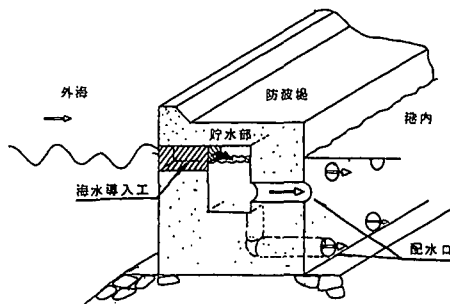


図-9 海水導水工の概要

水工(図-9)を前提とした。海水導水量については、別途実施した模型実験から得られた、波高と導水量との関係を踏まえ、500 m³/10 m/h, 1000 m³/10 m/h, 1500 m³/10 m/h, 2000 m³/10 m/h, 3000 m³/10 m/hの5ケースを設定し、第2層(-2 m~-4 m)に導水するものとした。

4. 水質予測結果

導水しない場合及び5つのケースの導水を行った場合について、36ヶ月間のDOを予測した。導水しない場合と500 m³/10 m/h, 1500 m³/10 m/h, 3000 m³/10 m/hの3つの導水ケースの予測結果を図-10に示す。

導水しない場合第1, 2層(以下表層と記す)のDOが3 ml/l, 第9, 10層(以下底層と記す)のDOが2 ml/lと低下し、表底層とも管理限界を下回る結果となった。

これに対して、第2層に500 m³/10 m/hの導水を行うと、表層のDOは3.5 ml/l付近まで回復し、さらに導水量を増やすに従い表層のDO回復の傾向が強まり、3000 m³/10 m/hの導水時には表層のDOが4.0 ml/lまで回

復する結果となった。しかし、底層のDOは依然として管理限界を下回る状態である。

生け簀が設置される表層は、魚にとって好適なDO環境に保たれるが、底層では貧酸素状態が生じることから、気象の擾乱等によって下層水が湧昇する場合に問題を引き起こすことが懸念される。

そこで、底層のDOの改善を目的に、第9層に導水した場合のDOを予測した。導水方法を1500 m³/10 m/hを第9層に導水する場合と、第2層に750 m³/10 m/hと第9層に750 m³/10 m/hを導水する場合の2ケースとし、予測を行った(図-11)。

第9層に全量を導水した場合には、底層のDOは改善されるが、表層のDOが管理限界値の3 ml/lまで低下する結果となった。これに対して第2層と第9層にそれぞれ750 m³/10 m/hを導水した場合には、水域内の全層のDOが管理限界を上回り、蓄養魚にとって好適な環境が維持される結果となった。

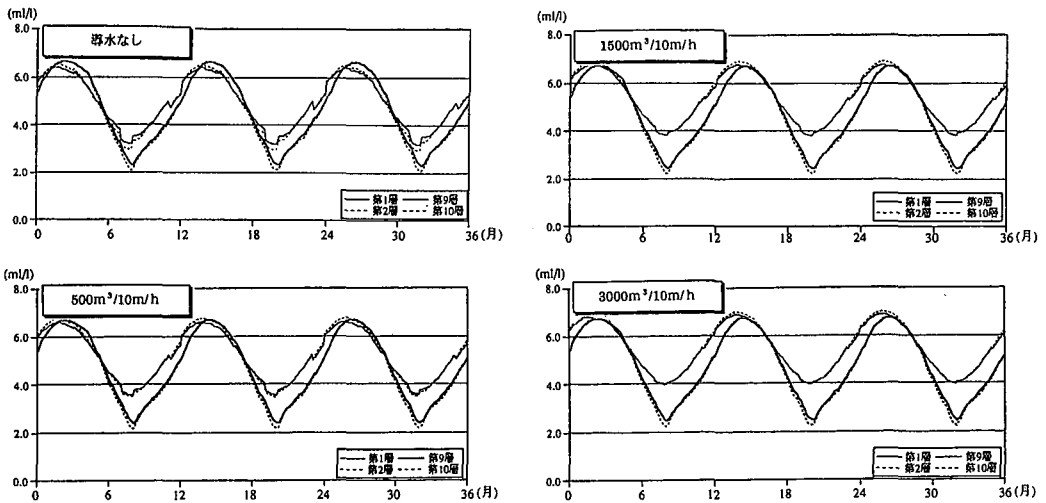


図-10 DO予測結果(表層導水)

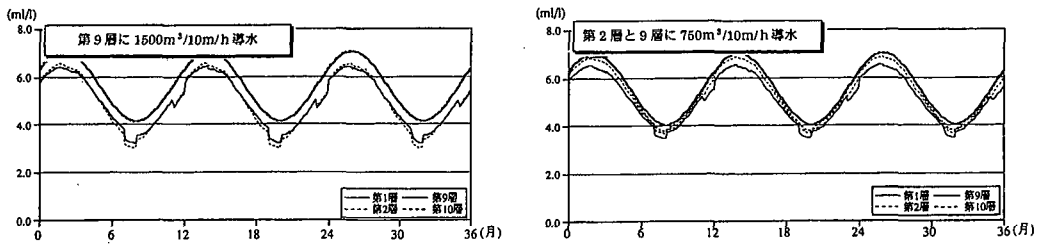


図-11 DO予測結果(底層及び表底層導水)

5. まとめ

本検討においては、蓄養が予定される港内の水質悪化を未然に防止するために必要な導水量並びに導水方法に関する具体的な要件を明らかにすることができた。

ここで用いた方法は、港内環境の検討のみならず、養殖漁場等の環境容量を検討する上でも有効な手法であると考えられる。

また、海域におけるDO環境を好適な状態に維持することは、水産有用生物のみならず、その他の生物にとっても重要なことである。当検討手法に改良を加えることによって、閉鎖性が強く富栄養化が進み、貧酸素水塊の発生が問題となっている海域において、環境改善方策を検討する上で有効な検討ツールを提供できるものと考えられる。

参考文献

- 小田一紀・石川公敏・城戸勝利・中村義治・矢持進・田口浩一(1997): 内湾の生物個体群動態モデルの開発, 海岸工学論文集, 第44巻(2), pp. 1196-1200.
- 門脇秀策(1989): プリ・マダイ養殖における餌料解凍液, 残餌および糞の酸素消費, 水産増殖, 37巻, 1号, pp. 27-33.
- 島根県水産試験場(1978): 浜田湾環境調査報告.
- 田口浩一・中根 徹(1997): 浮遊生態系モデル—構造と応用例—, Ecosystem Engineering (生態系工学研究会第17回シンポジウムテキスト), pp. 9-23.
- 田中啓陽(1977): 汚染物質の堆積過程, 浅海養殖と自家汚染, 恒星社厚閣, pp. 42-51.
- 本間昭郎他(1990): 活魚大全, フジテクノシステム, p. 20, pp. 155-157.
- 松下岩雄(1997): 育成飼料と適正給餌プラン, 養殖(養殖餌料ベストガイド), 緑書房, pp. 116-121.
- 柳 哲雄(1989): シンポジウム「貧酸素水塊」のまとめ, 沿岸海洋研究ノート, 第26巻, 第2号, pp. 141-145.