

漁港内における溶存酸素濃度の変動機構の解明のための現地調査

山本 潤*・武内智行**・中山哲厳*・田畑真一***

1. はじめに

市場で活魚が高値で取り引きされるため、多くの漁港で蓄養が盛んに行われるようになってきた。さらに、漁港内で中間育成や養殖を行っている例もあり、生物の生息を考慮に入れた漁港の水質保全・改善の必要性が高まっている。図-1に漁港内蓄養のイメージ図の一例を示す。生物の生息にとって基本的な要素として溶存酸素(DO)、塩分濃度、水温等があり、これらが対象とする生物の生息条件を常に満たしていなければならない。その中でもDOは生物の生息のために特に重要であり、DOの低下によって蓄養魚が弊死する事例も報告されている。

一般に、漁港は静穏度確保や埋没対策等のための外郭施設の整備に伴い海水交流が悪化し、荷捌き、水揚げ時の大量の血水の流入等による有機汚濁の結果、貧酸素水塊の発生を引き起こしやすい。しかし、その規模が内湾等に比べて小さいため、海水交流工等の対策が適切に行われれば、水質改善効果が顕著に現れることもある。

DOの変動には、植物プランクトンの光合成、海水交流による外海水の導入、水中の微生物の呼吸や有機物分解時の酸素消費、底質の酸素消費など様々な要因が考えら

れる。漁港は通常の内湾に比べ水深、面積共に小規模であり、現象のスケールも異なるため、一般に用いられている諸係数がそのまま通用するかどうか疑問であり、また、漁港におけるこうした調査もあまり見られない。

こうしたことから、海水交流工を有する漁港内において、DOの変動をもたらし様々な要因についてそれぞれの寄与を見積もるための現地調査を行った。

2. 調査方法

現地調査は潜堤付孔空防波堤が建設されている志賀島漁港外港において1994年6月21日～7月20日に行った。図-2に調査地点を示す。

2.1 漁港内外のDOの経時変化

港外・港口・港奥・港中央部の中層にそれぞれメモリ一式DOメータ(三洋測器MDO-I)を設置し、各点でのDOの変動について10日間連続観測を行った。

2.2 水中での酸素供給・消費

6月21, 22, 7月19, 20日に港内・港外の表層・底層において採水し、COD、クロロフィルaを測定し、明暗瓶により水中の酸素の供給量・消費量をDOメータ(YSI社製)で計測した。これらと光合成速度との関連付けを行う全天日射量は日本気象協会のデータ(地上気象観測原簿、地点名:福岡)を用いた。また、導水工設置前のCODや強熱減量は森口ら(1991)が1990年6月7, 8日に同地点において取得したものをを用いた。

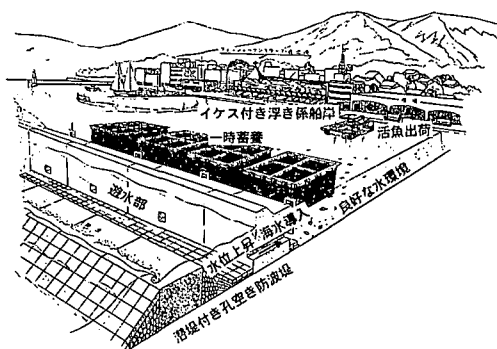


図-1 漁港内蓄養のイメージ図

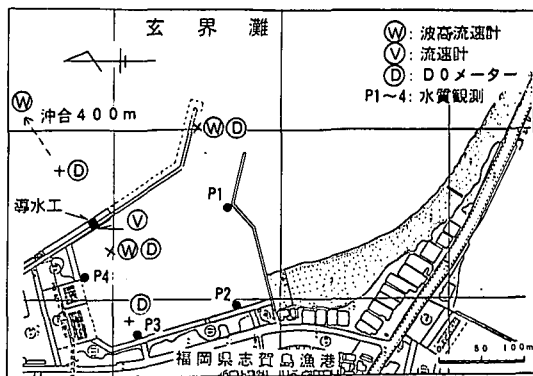


図-2 調査位置図

* 正会員 工修 水産工学研究所漁港水理研究室
 ** 正会員 農博 水産工学研究所開発システム研究室
 *** 正会員 パブリックコンサルタンツ(株)

2.3 底質の酸素消費

港内外の8地点(図-11)において底質のCOD, 強熱減量, 硫化物等の分析を行い, その中の1箇所(図-11中の②)については, 円筒を海底に突き刺し, 底質を乱さない状態で, その中のDOの変化を計測することにより現場での底質の酸素消費を計測した。

2.4 流況・波浪観測

沖・港口・港中央部に波高・流速計(アイオーテック社 WAVEHUNTER), 潜堤付孔空防波堤の孔に流速計(アレック電子 ACM-8 M)を設置し6月21日より1ヶ月間連続観測を行い導水量を測定し, 波高・潮位との関係について検討した。導水工から37 m離れた漁港中央部の地点において, 導入された外海水がどのような挙動を示しているか検討するため, この点における流速とDOの変化との関係を調べた。また染料を用いて, 導入された外海水の港内への流入状況を調べた。

3. 調査結果と考察

3.1 流 況

a) 導水流速

沖波有義波高, 潮位, 導水流速および, 導水工から港内側へ37 mの地点(以下中央部という)の流速の関係を図-3に示す。観測期間中は波高が10 cm未満の日が多く, 数回50 cm程度の波高を記録しただけであった。導水流速は, 波高が大きく潮位が潜堤の天端と一致しているときが最も大きい。この計測結果は前報(山本ら1994a)で示した理論通りで既に提案されている算定手法(山本1994b)がほぼ妥当であることがわかる。

孔より流入した水塊は写真-1, 2に見られるように, はじめは噴流状に流入し, その後港内に一様に拡散している。外海水の導入は中央部でも流速の変化として現れ, 導水孔と中央部での流速にはほぼ一定の関係が見られる。また, 写真に見られるような屈の日でも潜堤天端高と潮位の関係が適切であれば導水流速で10 cm/sを記

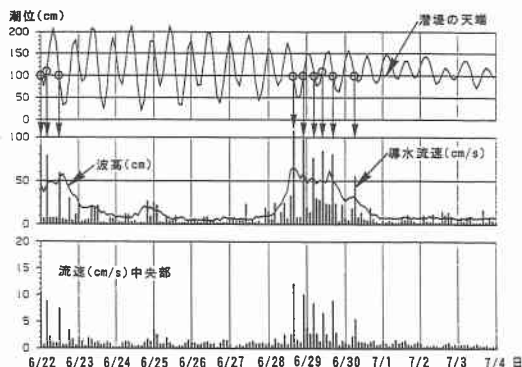


図-3 波高・潮位・導水・港内流速図



写真-1 導入水の港内拡散の様子(2分後)



写真-2 導入水の港内拡散の様子(12分後)

録し, 孔の総断面積 3 m^2 より, 1日当たり 2 万 m^2 以上の導水量が得られる。

b) 長周期振動

図-4に沖, 港口部, 中央部の水面変動と流速ベクトルを示す。6月25日の6:00~6:20は波高10 cm程度であったが, 港口や中央部の水面変動, 流速に約10分の長周期の振動が見られた。また, 波高が約65 cmの時, 約10分の長周期振動の他に1分の振動も見られた。こうし

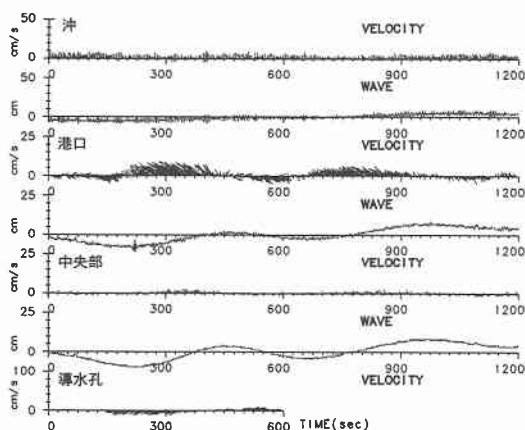


図-4 水面変動と流速ベクトル(6月25日6:00~6:20)

た長周期の振動は観測期間中ほとんどの時間帯で観測された。海水交流工の導水量算定の際に生じる若干の誤差は、一定と仮定している港内水位が実際には振幅 10 cm 程度で変動していることが原因であると思われる。

3.2 DO

a) 漁港内外の DO の経時変化

図-5 に港外、港口部、港奥部、中央部での DO の経時変化とその時の全天日射量を示す。全てにおいてほぼ同様の日周変動を示し、その変動の大きさは日射量に左右されているようである。6 月 23 日の夕方に港外に見られる急激な DO の上昇は数時間遅れて港口、中央部、港奥部へと伝わり、漁港内の水質は港外の水質変動の影響を数

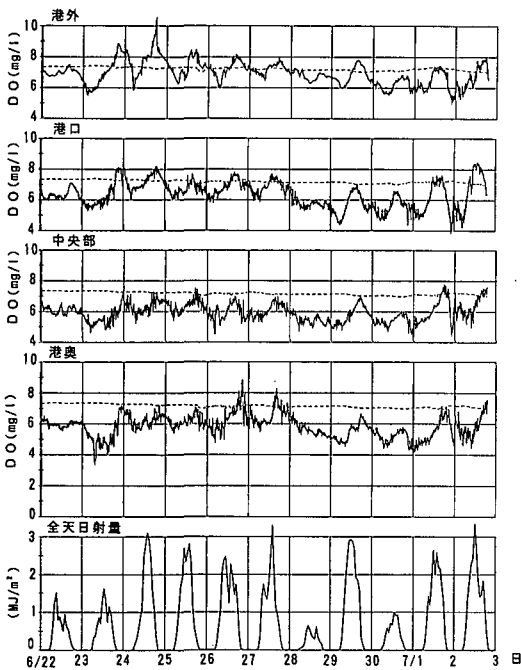


図-5 DO の経時変化と日射量

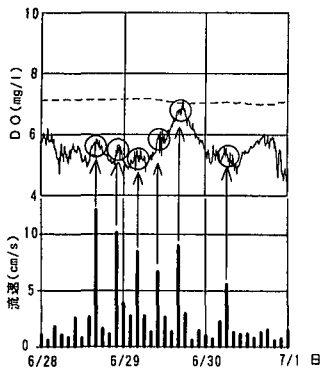


図-6 中央部における流速と DO

時間で受けることがわかる。

b) 導水による一時的な DO の変化

図-6 に中央部における流速と DO の経時変化の一例を示す。一般的に DO は日中は光合成の影響で高く、夜間に低くなる傾向を示すが、この日は天候が悪く、日中でも DO の上昇は見られず DO は一方的に低下するが、導水工より大量の外海水が流入しているため、その時間帯に DO は流入量に対応して増加している。

c) 光合成による酸素の供給

図-7 に明暗瓶の観測結果から算定された正味の光合成速度とクロロフィル a 量との関係を示した。クロロフィル a は 0.3~1.9 $\mu\text{g}/\ell$ で通常の沿岸部での値であった。一つだけ 6.3 $\mu\text{g}/\ell$ という高い値は、港奥部底層において一時的に現れた極薄い水温の低い層において、参考のために取水したものである。図中の*は木元ら(1987)が長崎県平戸において取得したものである。当漁港の場合、水深が 3 m 程度と浅く、底層まで有光層と考えられ、強光阻害が起こらなければ、同一の日射条件での光合成速度はほぼクロロフィル a 量で表現できると言える。

d) 海水交流工建設前後の港内水の COD

表-1 に海水交流工建設前と今回の調査での港内各点

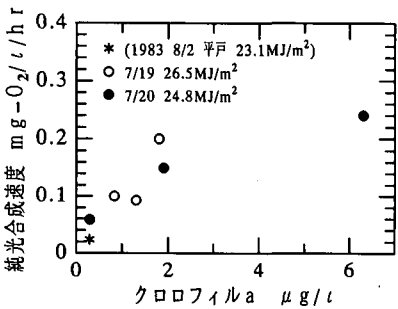


図-7 正味の光合成速度

表-1 港内各地点の COD (mg/ℓ)

	1990 7/15	1994 6/22 6:00	1994 6/22 17:00	1994 7/19 5:00	1994 7/20 5:00
港外表層		1.0	1.6	1.8	1.2
港外底層		1.3	2.0	1.1	1.2
P1表層	6.3	1.2	1.7	2.0	1.3
P1底層	6.1	1.5	1.8	1.9	1.2
P2表層	4.2	1.2	1.9		
P2底層	5.7	1.9	2.2		
P3表層	5.2	2.0	2.0	2.0	0.6
P3底層	6.7	1.2	1.3	2.2	8.5
P4表層	6.5	1.7	1.4		
P4底層	6.8	1.6	1.5		

の COD の値を示す。海水交流工の建設によって、COD が著しく低下し、水質が改善されていることがわかる。現在では港内と港外とで水質に明確な違いが見られなくなっている。

e) 水中での酸素消費

水中での酸素消費は動植物プランクトンの呼吸と水中の有機物がバクテリアによって分解されることによるものの両者が考えられるので、有機物量の大小を間接的に表す COD ごとに暗瓶により算定した水中の酸素消費速度を図-8 に示す。調査では COD の高い地点ではクロロフィル a も大きな値を示しており、植物プランクトンの多少による分類とほぼ同様である。なお、港奥部底層でクロロフィル a が高い値を示した点では COD も 8.5 mg/l と高い（他の地点では $0.6 \sim 2.2 \text{ mg/l}$ ）。

この図から、COD の値に関わらず酸素消費速度はほぼ同じ値を示し、その平均値は 0.039 mg/l/hr であった。酸素消費速度と COD や植物プランクトン量との相関は認められなかった。

f) 漁港内外の DO の上昇量と光合成

図-9 に港奥部と港外の日の出から日没までの間の DO の増加量とその日の全天日射量との関係を示す。図中の黒点は明瓶や暗瓶における DO の変化をその時の日射量で表したものである。暗瓶での日射量は当然 0 である。

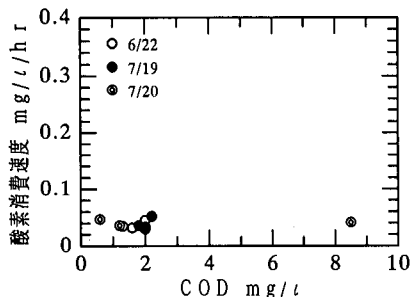


図-8 水中の酸素消費速度

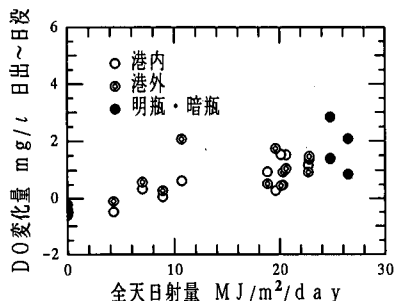


図-9 日中の DO 増加量

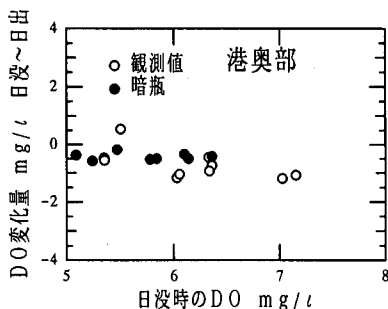


図-10 夜間の DO 減少量

漁港内と港外の DO の変化量にはほとんど差が見られない。海水交流が十分に行われた結果、港内と港外で水質に明確な違いが認められないためと思われる。それらの値は水中だけで行われる酸素供給しか示さない明瓶と暗瓶の値の間にほぼ納まり、全日射量と一定の関係が見られたことから、ここでの酸素の供給はほとんどが植物プランクトンによるものであると推定できる。

g) 漁港内の DO の減少

図-10 に日没時から翌日の日の出までの間の DO の減少量を日没時の DO 毎に整理した。DO が高い場合と低い場合とで消費速度に違いがどうか検討したが、そのような影響は全く見られなかった。海水交流工建設以来、港内の DO は高い値を維持しており、今回の観測期間中もほぼ 5 mg/l 、飽和度で 70% 以上もあり、この範囲内では影響がないものと思われる。

また、各地点での DO の減少は暗瓶による水中の酸素消費速度に比べ、数倍も大きく、水中の消費だけでは説明がつかない。それ以外の要素として考えられる底質の影響がかなり大きいことが示唆される。

3.3 底 質

a) 底質の分析

海水交流工建設前の各地点の底質の強熱減量、泥分と

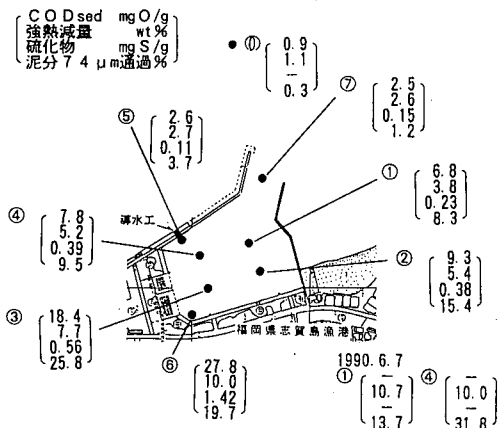


図-11 底質分析結果

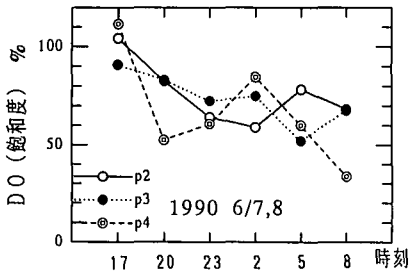


図-12 港内底質のDO (導水工設置前)

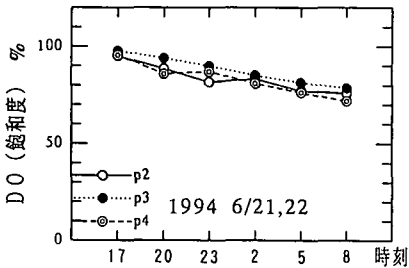


図-13 港内底質のDO (導水工設置後)

建設後の底質のCOD, 強熱減量, 泥分, 硫化物等の分布を図-11に示す。海水交流工によって水のCODが改善されたことは前述したが、底質は港奥から港口や導水孔に近づくにつれて良好になっており、底質にも徐々に改善効果が現れていることを表している。しかし、漁港の最奥部の底質までは海水交流工の効果がすぐに現れず、一時的ではあるが、港奥底層の極薄い層で高いCODを示す結果をもたらしたものと考えられる。

b) 底層のDO

3時間毎に日没から翌朝まで各地点においてDOを計測した。図-12, 13に港内の底層での結果を示す。海水交流工建設前は底層でも日中は過飽和状態を示したが、夜間にはそれが50%を下回るほどの急激な低下をしている。一方、建設後の1994年では常に70%を上回り、夜間でも港外や表、中層と変わらない。底質が改善されたこと、海水交流が十分に行われているからであるといえる。

c) 底質の酸素消費

図-11の測点②において底質の酸素消費を計測した結果、この点での底質の酸素消費速度は約40 mg/m²/hrとなった。この値は高知県野見湾の10.8, 14.2 mg/m²/hr(高知水試, 1977)よりも高く、潮汐利用のハマチ養殖場の53, 70 mg/m²/hr(田中, 1968)よりも低い値である。

図-10で港奥の日没から日の出までのDOの変化量

は約1 mg/lであった。この時の暗瓶での酸素消費が0.43 mg/lであったため、暗瓶以外の要素の割合がかなり大きいことがわかる。そこで、底質の酸素消費を含め、水柱当たりの酸素消費に換算してみたがうまく説明がつかなかった。今回は1地点1回だけの計測のため、底質の汚染の度合いによる酸素消費の違いがわからなかった。今後さらに調査してデータを蓄積する必要がある。

4. おわりに

本研究では、漁港内におけるDOの変動機構の解明のため、光合成量や水中での酸素消費、底質の酸素消費などを現地観測し、それぞれについて検討した。この中で酸素の供給がほぼ光合成によって表され、外海水の港内への導入によるDOの上昇が日変動の数値に現れなかった。この理由として、海水交流工の建設によって漁港内の水質が改善され、港外とほとんど変わらない状態であったためではないかと考えられる。一方、消費については実際のDOの変化に対し暗瓶の値は約1/3程度で、底質等の他の要素がかなりの部分を占めている。その中には明暗瓶に入らなかった遊泳能力のあるプランクトンや小魚類、漁港岸壁の付着生物の存在等も考えられる。その他、漁船の航行による底質の巻き上げ、水揚げ時の血水の流入等による一時的な負荷の増大も考えられる。周囲の海域の水質変動の影響も受けやすいことから、漁港特有の水質の問題は複雑であり、今回で一応の成果は得られたもののまだ課題は多く、さらに検討すべきである。

本研究をすすめるにあたって当研究所山本正昭部長、木元室長、日向野主任研究官の助言を頂いた。志賀島漁港の現地調査の際に水産庁漁港部山本竜太郎氏、福岡県漁港課、福岡市漁港課、福岡市漁協志賀島支所の皆様の多大なる協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 木元克則・中嶋純子・森岡泰啓 (1987): 長崎県平戸志々伎湾におけるクロロフィルaの現存量と基礎生産量, 西海区水研報告, 第64号別冊, pp. 35-46.
- 高知県水産試験場 (1977): 昭和51年度魚類養殖環境自家汚染防除技術開発試験-III-1, pp. 1-48.
- 田中啓陽・井上裕雄 (1968): 昭和42年度農林水産業特別研究報告書 (前川・井上編), pp. 73-82.
- 森口朗彦・山本正昭 (1991): 志賀島漁港における貧酸素水塊発生機構とその対策, 水産工学会学術講演会論文集, pp. 111-112.
- 山本 潤・武内智行・中山哲蔵・田畑真一・池田正信 (1994a): 志賀島漁港外港の導水工による環境改善効果に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 1096-1100.
- 山本正昭 (1994b): 潜堤付海水導入工の計画と設計, 水工研技報, 第16号, pp. 1-12.