

(27) 海域の貧酸素化による無生物底泥の
発生条件について

DEVELOPMENT CONDITION ON SUMMER
DEFAUNATION DUE TO OXYGEN DEPLETION
IN INNER BAY

細川恭史*、堀江 毅*

Yasushi HOSOKAWA*, Takeshi HORIE*

ABSTRACT: The growth of the temporal defaunation on the bottom sediment often occurs in eutrophic inner bays during oxygen depletion period in summer. The probability of the defaunation is tried to estimate under some assumptions. Paraprionospio sp. A-type is selected as a typical species, which is well-known as an organic pollution indicator and a dominant polychaeta in most eutrophic bays. The physiological tolerance to low oxygen concentration is examined to get the dose-response relationship. At 20°C, respiration rate decreases below 3mg/l D.O. concentration. But high survivorship is observed for the low oxygen condition. The tolerance limit is estimated as "D.O. concentration below 2mg/l maintained for more than 2 days." Change of D.O. concentration under the thermal stratification is also analyzed using the continuous observation data in Osaka Bay. The long-term trend in the lower layer is deeply related to the development of the vertical stratification. The short-term fluctuations are related mainly to the small mixing. Applying the same magnitude of the observed fluctuations, probability of the tolerance condition is calculated. Estimated probability is rather low comparing to the seasonal occurrence. Reduced substances on the bottom surface under anaerobic condition should be more effective rather than oxygen depletion itself in the bottom water.

KEYWORDS: defaunation, tolerance to low D.O., Paraprionospio sp., oxygen depletion

1. はじめに

富栄養化した内湾では、夏期に成層が発達すると底層の貧酸素化が進み、一時的ではあれ大型底生生物の存在しない無生物底泥域が発生する。無生物域は、湾奥部の有機質に富む泥質底泥に発生し易い。有機質底泥域では底生生物相は単純化し、少種の生物が高密度に生息するようになる。有機質底泥に特徴的な優占種としては多毛類が多く、それ自体の資源価値は小さいが、①沈降有機粒子の分解者、②他の底生生物や底魚の餌、③生物的底泥転耕などの底泥酸化促進等の働きがあり、何よりも劣悪な条件下での最終生存者として重要である。ここでは、ほぼ毎夏生起する現象を対象に、発生の条件を個体の生理反応に求め、現場での発生条件の生起可能性を時系列観測データより考えてみた。

2. ヨツバネスピオの貧酸素耐性実験

2.1 内湾有機底泥域での底生生物

海底の底生生物は、一定の種類が特定の環境・場所に群集を成して生息していることが知られている。シ

* 運輸省港湾技術研究所 Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport

スクガイ群集、ヨツバネスビオ群集等は、内湾性の強い海域の有機質泥に特有の群集として分類される。なかでも多毛類のヨツバネスビオ (*Paraprionospio* sp. A type)は、有機質に汚濁された微細泥質に対する指標底生生物として知られており、内湾浅海に卓越してみられる。底生生物の分布や住分けは、生態学的に群集の生活特性から説明が試みられている。図-1に示す大阪湾西宮防波堤沖のA地点(水深16m)付近2-3箇所での昭和58年4月以降約2年間の底生生物の個体数の変化を図-2に示す。図には同地点の底上2mでのDOの変化なども示してある。夏期の底層貧酸素化にともない、毎年6-9月に著しく個体数が減少し、秋以降に再び個体数が回復していることが判る。個体数の大半を多毛類が占めているが、このうちの8割程度がヨツバネスビオである。

2.2 ヨツバネスビオの特徴

寿命は、150日-1年とされ、夏から冬にかけて産卵する。約1箇月の浮遊期を経て幼体は着底し、着底後早いものでは1箇月で抱卵するものもあるとされる生活史の短い底生生物である。成体は体長数mm-10cm程度となる。他種との生態的競争には弱い、環境の変動には強いとされている。ヨツバネスビオの貧酸素耐性の実験例は、余り見当たらないが、好適塩分範囲は30-40‰、好適温度範囲は5-20℃と云われている。

2.3 ヨツバネスビオの貧酸素耐性実験

生物活性として呼吸による酸素消費を選び、貧酸素化に伴う呼吸速度の低下を測定した。又生存基盤の悪化として窒息死による生残率の低下を実験した。何れも夏期の状況を想定し20℃で、1-数日間の影響を検討した。他の水質変動や共存物質の影響は十分には考慮されていない。

(A) 方法 ヨツバネスビオA型は昭和61年冬に横浜港にて採取した。海水中でスポイト法により選別を行い、24時間無投餌飼育後に実験に用いている。呼吸速度は、300ml容の細口ガラスビンに大きさを揃えて10個体ずつ入れ、24時間暗所に静置しビン中のDO濃度の変化より求めた。ビン中の海水は、予めN₂ガスと空気とでDOを1.5, 2, 4, 8mg/lの4段階に調整しており、各段階毎に海水自身の酸素消費を測定する対照ビンを設けた。貧酸素に対する耐性実験は、600ml容のガラスビンに10個体ずつ入れ、72時間暗所に静置して行った。24時間ごとに、転倒顕微鏡を用いて個体の動きを観察し、エラの動きの

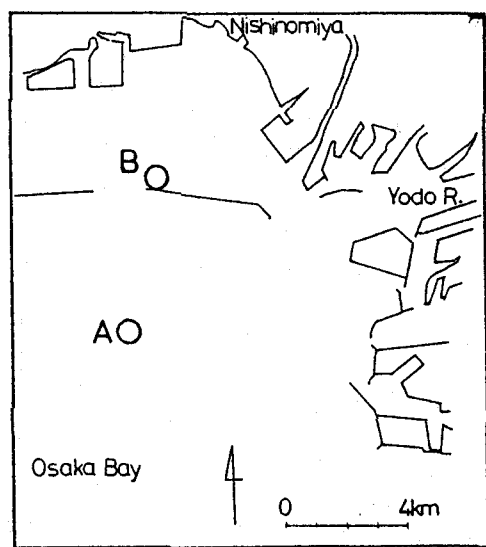


図-1 大阪湾西宮沖観測位置図

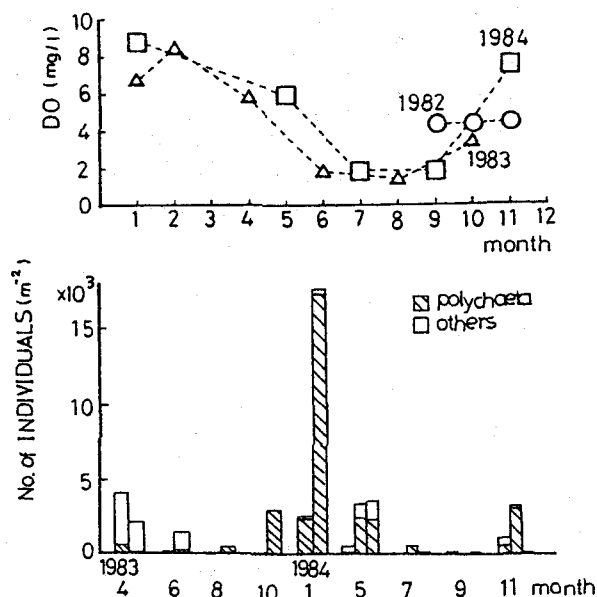


図-2 大阪湾A地点における季節変化

止まった死亡個体を計数した。DOは、1, 1.5, 2, 2.5, 3mg/lの5段階に調整してある。開始時と終了時にDOを測定すると共に、終了時すべてのビンをばっきし数時間後に生残個体を検鏡により確認し最終生残率とした。海水は32‰のものを1 μ mろ紙で濾過し用いている。又何れの実験でも個体の湿重量を測定した。昭和62年冬には、培養ビンに6l容のガラスビンを用い抗生物質(ストレプトマイシン)を硫酸塩として0.5 mg/lとなる様に添加して耐性実験を追加して行った。

(B) 結果 呼吸による酸素消費速度の測定結果を図-3に示す。呼吸速度は個体の湿重量当たりの値で表してある。1個体の平均湿重量が10mg以上のケースを白丸で示してある。DO濃度に関わらず一定の呼吸速度となる範囲の下限は、3mg/lである。これを下回ると、呼吸速度はDOと共に減少してゆく。実験開始時DO1.2mg/lでは呼吸は極めて小さいが、このケースでも全個体の生存が確認され窒息死は起きていない。貧酸素耐性実験では、実験開始時DOが0.9mg/lのケースで24時間後でも全個体の生残が見られ、運動は不活発であるが即死とならないことが判った。しかし、48時間後には2-4割、72時間後には5-9割が死亡し、2日を経過すると急激に死亡が進行することが判る。開始時DO1mg/lの生残率の経時変化を図-4に示す。各濃度での48, 72時間後の生残率を図-5に示す。72時間T.L.mは、1.5-1.7mg/lとなる。一方、抗生物質添加ケースでは、DO0.3-0.5mg/lでも4日目までは死亡個体が見られない。

2.4 ヨツバネスビオの貧酸素に対する反応のまとめ

①. 通常の呼吸が阻害され始めるDO濃度は、20°Cで3mg/l。②. DO1mg/lでも1日では死亡しない。③. DO1.5-2mg/l以下の状態が2日間継続すると、死滅が進行する。④. 嫌気バクテリア活動が抑制されると、更に長期にわたり生残する。更に詳しい検討が必要だが、ここでは「2mg/l以下の状態が2日間継続すること」を死滅の条件として考えることとする。

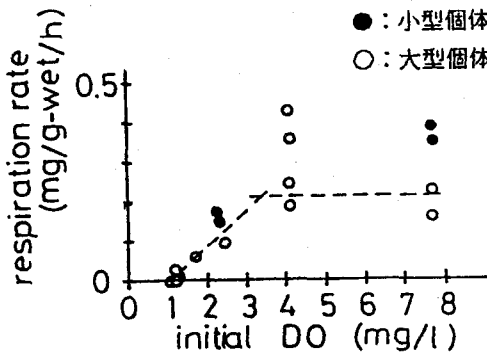


図-3 呼吸速度のDO濃度に対する変化

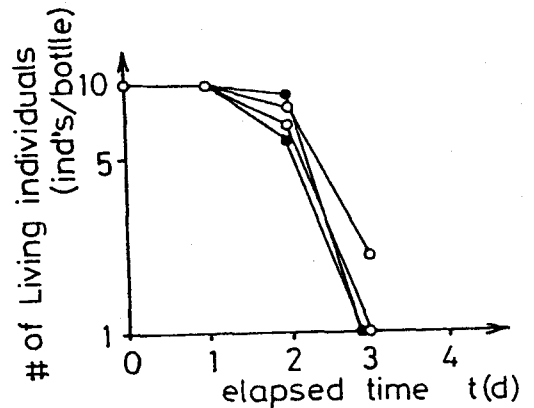


図-4 ヨツバネスビオの死滅過程 (DO1mg/l)

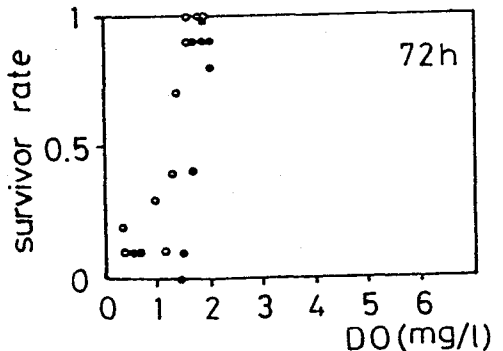
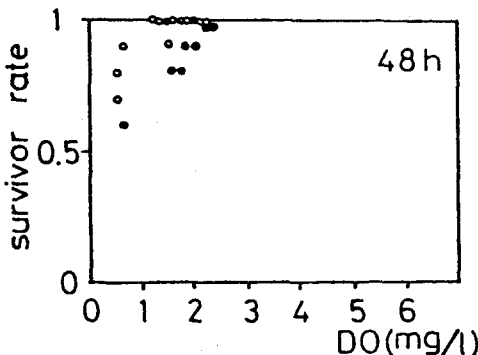


図-5 ヨツバネスビオの貧酸素に対する生残率

3. 下層D Oの変動

3. 1 D Oの自動観測

図-1のB地点(西宮防波堤内、水深10m)で昭和60年に水質自動観測が試みられた。測定水深は1m,4mの2層である。測定項目は多岐にわたっているが、下層D Oは7月16日より約30日間にわたり毎正時に測定された。8月5、11日に少降雨を見たが他は良く晴れて、成層が発達していた。長期間連続して測得できた7月27日15時から8月17日11時までの20日間の下層D Oの変化を図-6に示す。13日目の8月9日頃から手分析の値と10%ほどの違いが生じてきている。上層D Oは連日概ね6mg/l以上を示した。4mの測定位置は、ほぼ下層に属しているが、上下の混合状況によっては成層の境界位置となることもある。

図-6を見ると、変動の日周期性が明瞭でなく、日の出前に極小・午後に極大になると云った傾向はうかがえない。11日目までの256個の測得値のパワースペクトルを図-7に示す。36、23、11時間辺りにピークが見られ、5日以上長い周期の寄与も大きい。23時間の変動は、他の項目や他の測定期間でも見られ、日射もしくは潮汐の影響とも思われる。しかし、潮汐作用の影響は、下層塩分と下層D Oとを直接比較しても低い相関しか得られない。成層の強さとして上下層の塩分差を求めると図-8のようになる。図-6に破線で示した23時間移動平均の経時変化と良く似た変動となる。成層の強さは潮汐・日射・降雨・風などに関係し、周期性は明確でない。

成層の発達に起因するゆっくりとした平均濃度の変動を除き、1日間以下程度の変動を取り出してみる。23時間移動平均値をもとの測得値より差し引いた残差を図-6から読むと、成層が安定し平均濃度が低下する期間では変動幅が小さいように見える。残差濃度を65個ずつ(2.5日間)に区切って変動を調べると、僅かながら11時間程度の周期にピークが見られる。1時間前の値とも弱い関係があり、ランダムな変動とは見せない場合もある。変動の標準偏差(s)は0.78-1.51mg/lの範囲にある。

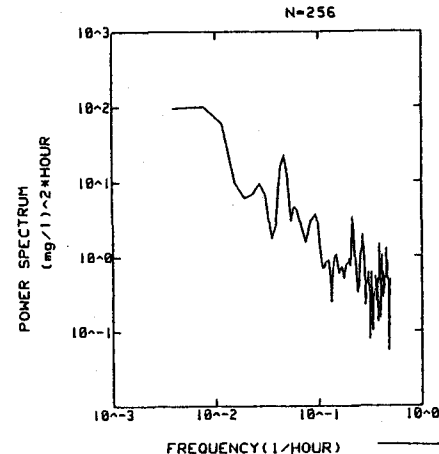


図-7 下層D Oの変化に対するスペクトル

表-1 ヨツバネスビオ死滅確率の算定結果

ランダム成分の標準偏差 s 平均濃度 C m	D O 2mg/l を下回る確率			D O 2mg/l 以下の48時間連続確率		
	0.8 mg/l	1.0	1.5	0.8	1.0	1.5
1.0 mg/l	.894	.841	.748	5×10^{-3}	2×10^{-4}	9×10^{-7}
1.5	.734	.692	.631	4×10^{-7}	2×10^{-8}	3×10^{-10}
2.0	.5	.5	.5		4×10^{-15}	
2.5	.266	.308	.369	2×10^{-28}	3×10^{-25}	2×10^{-21}

3. 2 簡易なモデルによる死滅確率の算定

ここでは最も簡単に下層D Oの変化を次のようにモデル化した。

$$C_t = C_m + E_t, \quad E_t \sim NID(0, s^2)$$

すなわち、下層D O (C_t) は、時間によらない平均濃度 (C_m) と時間毎に変動する残差濃度 (E_t) との和であり、残差濃度の変動は平均値0、標準偏差 s のホワイトノイズで表せる。 s については、前出の測定例より0.8-1.5mg/l を採用した。 C_m は2-3日では一定であり所与の値として1-2.5mg/l を与えた。D O濃度2mg/l 以下が48時間連続して生起する確率を求めると、表-1のようになる。平均濃度 C_m が低いほど、僅かのD O濃度改善でも生存の確率を著しく高めることが判る。

簡単なモデルであり、パラメータも比較的浅い水深での測定値に基づいているから表-1の値そのものは余り信用が置けない。それでも、ここでの値 $10^{-3} - 10^{-10}$ は、毎年夏期に生起する現象に対しては小さすぎる。無生物域の条件として、底層水の貧酸素化に伴う直接的な窒息死よりも、底泥表層での嫌気反応生成物による毒性のほうがより重要である可能性がある。

底生物の培養・選別には北森良之介博士の御指導を得た。記して感謝いたします。

参考文献 1. 上野ら, ベントス研究会誌23, (1982) 2. H.Tsutsumiら, Publ.Amakusa Mar.Biol.Lab., 7(1), (1983)
3. 村上, 港研報告, 26(2), (1987)

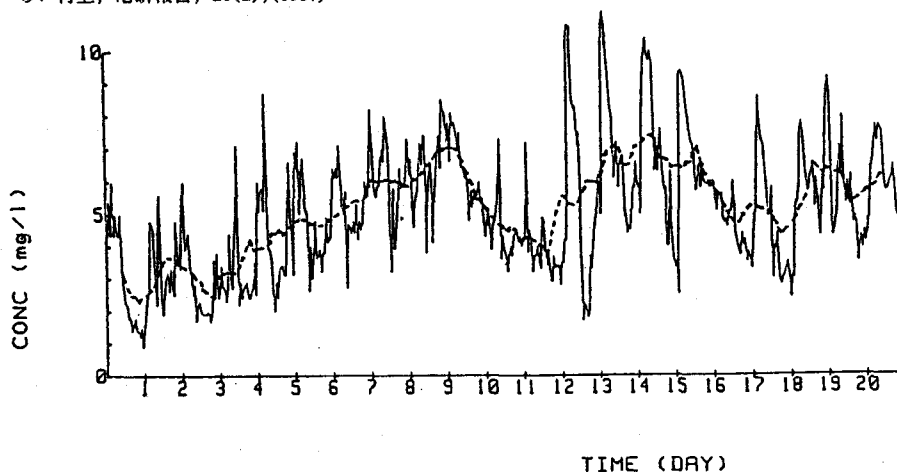


図-6 大阪湾B地点における下層D O濃度の変化 (破線は23時間移動平均)

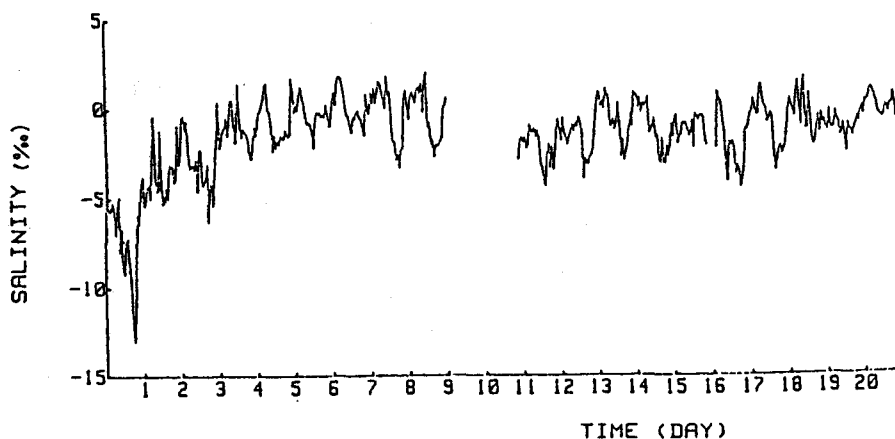


図-8 大阪湾B地点における上下層の塩分差の変化 (上層値-下層値)