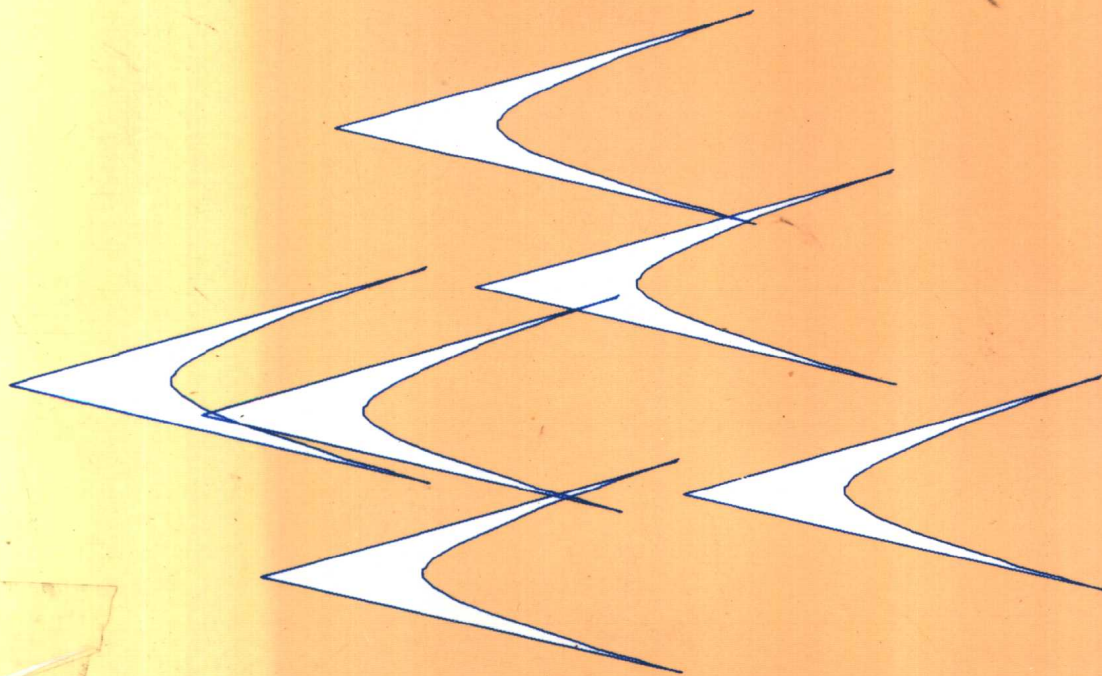

栽培漁業 における

漁場環境保全技術

佐野 和生 著

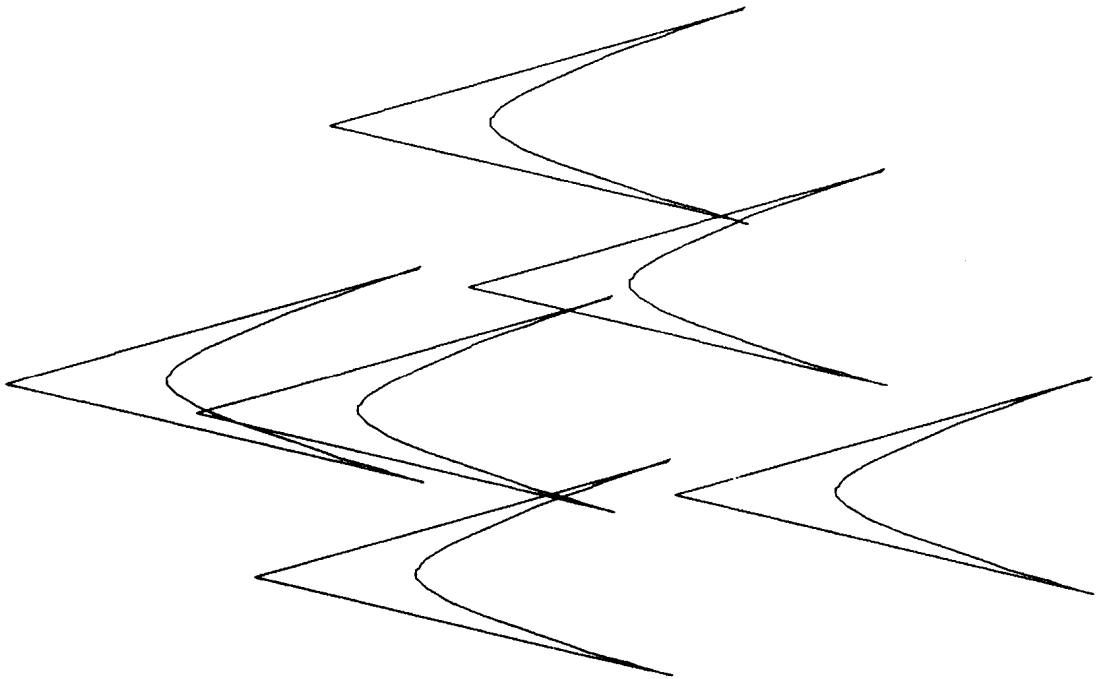


サイエントリスト社

栽培漁業 における

漁場環境保全技術

佐野 和生 著



サイエンス社

佐野和生 さの かずお

1932年2月26日 東京に生れる

1954年3月 東京水産大学増殖学科卒

1960年3月 東京大学大学院生物系研究科水産学(水産海洋学)専攻

この間松江吉行教授の下で水産養殖に関する水質・環境保全について研究

1983年7月 ㈱水圏環境コンサルタント代表取締役

(農学博士・水道部門技術士)

主な著書

『水産養殖と水』

『水産養殖と水 第II集』

(サイエンティスト社刊)

その他

栽培漁業における漁場環境保全技術

1987年9月15日 初版第一刷発行

定価1,500円

著 者 佐 野 和 生

発 行 者 大 野 満 夫

発 行 所 株式会社 サイエニティスト社

東京都千代田区神田駿河台3-2

山崎ビル ☎03-253-8992

振替東京 8-7 1 3 3 5

© SCIENTIST INC. 1987

3045-870032-2892

印刷・製本/㈱サンヨー

序

栽培とは、種苗から最終生産物の収穫までが人為的管理のもとで行なわれることを意味しており、ここでは給餌養殖までを包含したものを対象としている。

漁場環境という場合に、環境要因は生物、化学、物理の三要素に分類される。生物環境は、食物連鎖的なものや競合種など生態系の構成に関するものが中心となる見方や、化学環境要因との関連での生物環境までをも含む見方などがある。

ここでは物理や化学的なものを主として、漁業生産管理に必要な環境保全を対象としている。

漁業環境保全技術はまだこれからのものであり、それは漁場を実際に使用する漁業者達が農業と同一水準で、水域の生産性維持のために自らが環境を管理していける技術であることが望まれる。従来の技術開発についてみると、国の資金援助により実行可能になるような方法に重点が置かれているように感じられる。実際に日常管理は利用者が行なえるものではないと、再生不能になるまで漁場管理が放置されるような状態になることが予測される。大型の基盤整備などは別にして、ここでは漁業者自らによる環境管理を重点とした保全技術について検討し提案したものである。今後この技術がより発展していくことで、資源管理型栽培漁業も本当の意味で定着するものと思う。このような技術体系の確立と利用についての考え方を参考にして頂ければ有難い。

目 次

第 I 章 漁場環境浄化についての基本事項	1
1 自然界における浄化作用	1
2 汚染の実態	3
3 動態的な汚染指標	7
4 温度の有機物分解に対する影響	9
第 II 章 環境保全技術	15
1 従来技術	15
1.1 水の交換の促進	15
1.2 底質改良	16
1.2.1 石灰散布による底質改善	16
1.2.2 粘土散布による底質改善	16
1.2.3 覆砂による底質改善	17
1.2.4 耕運および曝気による底質改善	17
1.2.5 浚渫によるヘドロ除去	18
1.3 従来技術の見直しと補足	19
1.3.1 汚染の改善と目標	19
1.3.2 海水の交換促進	19
1.3.3 耕運と曝気の効果	19
1.3.4 石灰散布の効果	20
1.3.5 粘土散布による底質改善	21
1.3.6 覆砂による底質改善	21
1.3.7 浚渫による底質改善	22
2 今後検討され組み入れるべき漁場環境改善技術	24
2.1 システム開発について	24
2.2 底質改善の基礎	25
2.2.1 底生生物と底質	25
2.2.2 底質改善にあたっての物理的要因	38
2.2.3 化学的性状の動態試験	49
2.3 底質の改善方法	51
2.3.1 拡 散	51

2.3.2	凝集処理	52
2.3.3	酸化処理	52
2.3.4	耕運と酸化	57
2.3.5	窒素除去	58
2.3.6	水域の区画	61
2.3.7	カーテン防波堤	63
2.3.8	緊急時の陸上養殖設備	64

付表	漁場底質環境改善の基本技術	65
----	---------------	----

第Ⅲ章 生態系保持のための環境管理 67

1	幼生の拡散	67
2	循環水域の造成	69

文	献	71
---	---	----

第 I 章

漁場環境浄化についての基本事項

1. 自然界における浄化作用

有機物に起因する汚染に対する浄化作用は、拡散や希薄化しようとも究極的には生物の分解作用に依存している。この生物による有機物分解作用は、それぞれの生物によるエネルギー代謝形式により差異がある。自然界での物質代謝で、もっとも大きな役割を担っている微生物の主役である細菌類のエネルギー代謝形式をまとめたのが表 1-1 である。

表 1-1 細菌のエネルギー代謝形式¹⁾

エネルギー供給形式	細菌の種類	反 応
酸素呼吸	好気性および条件的嫌気性細菌	$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightleftharpoons H_2O$
硝酸還元	条件的嫌気性菌	$H_2 + \frac{2}{5} NO_3^- + \frac{2}{5} H^+ \rightleftharpoons \frac{1}{5} N_2 + \frac{6}{5} H_2O$ 脱窒型
		$H_2 + \frac{1}{4} NO_3^- + \frac{1}{2} H^+ \rightleftharpoons \frac{1}{4} NH_4^+ + \frac{3}{4} H_2O$ アンモニア型
		$H_2 + NO_3^- + H^+ \rightleftharpoons HNO_2 + H_2O$ 亜硝酸型
発酵 有機物分子の還元	条件的および絶対的嫌気性細菌	$H_2 + \text{フマル酸} \rightleftharpoons \text{コハク酸}$
		$H_2 + \text{ピルビン酸} \rightleftharpoons \text{乳酸}$ $CH_3COCOOH \rightleftharpoons CH_3CHOHCOOH$
		$H_2 + \text{アセトアルデヒド} \rightleftharpoons \text{エチルアルコール}$
硫酸還元	絶対的嫌気性細菌	$H_2 + \frac{1}{4} SO_4^{2-} + \frac{1}{2} H^+ \rightleftharpoons \frac{1}{4} H_2S + H_2O$
メタン生成	絶対的嫌気性細菌	$H_2 + \frac{1}{4} HCO_3^- \rightleftharpoons \frac{1}{4} CH_4 + \frac{1}{2} H_2O + \frac{1}{4} OH^-$

我々が好気性と呼ぶ雰囲気において酸素呼吸を行なうエネルギー代謝形式は、人間も含めての生物に一般的に見られるものである。これに対して、硝酸還元からメタン生成のエネルギー代謝形式は、通常嫌気性と呼ばれる分子状酸素の存在しない雰囲気において行なわれているもので、我々の体内や、漁場環境に関しては特に海底の泥の部分など、無酸素条件下における分解作用の主役となっている。

これら生物による有機物の分解経路は、図1-1に示す通りで、好気性、嫌気性条件ともに(A)、(B)段階までは共通している。(C)段階以下が相違して、酸素呼吸の場合ではTCAサイクルによる酸化が行なわれるのに対して、嫌気性においては硝酸還元と硫酸還元および有機化合物の還元が行なわれて、それぞれの最終生産物を生成する。

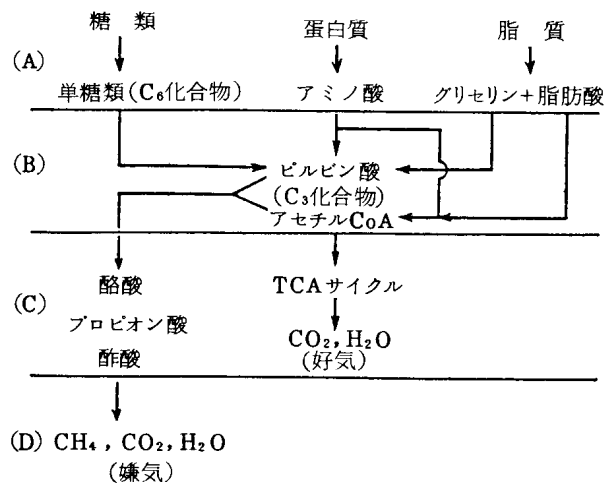


図1-1 有機物の分解経路

究極の最終生産物を炭素化合物についてそれぞれの場合を見ると、酸素呼吸においてはCO₂という酸化物であり、嫌気性の場合にはCH₄という還元物の形態をとっている。

好気性条件の雰囲気に、硫酸還元により生成した硫化水素のような還元性物質が混入すると、酸素呼吸の通常の生物は障害を受ける。硫化水素が、これを酸化することでエネルギーを獲得している硫黄酸化細菌などにより酸化されて、コロイド硫黄や硫酸になれば、一般の酸素呼吸生物に対する阻害作用は失われる。2価の鉄を3価の鉄に酸化する細菌も還元物質の酸化に寄与しており、自然界ではこれらの作用が一体となって、嫌気性雰囲気での生成物が好気性雰囲気に出現した場合に、最終的にはTCAサイクルによる最終生成物となり、支障を来たさなくなる。

水域における環境浄化は、ここに述べた浄化機構の範疇にすべて含まれるものであり、これらの基本事項に基づいて理解しておくことが、具体的に浄化対策を立てる上でなによりも必要である。

2. 汚染の実態

養殖漁場の汚染の実態については、日本水産学会編「浅海養殖と自家汚染」³⁾に詳しい。アユやマスなどの養殖池で水の状態を水中で観察すると、水面では一見きれいに見える水でも意外に汚れていることがわかる。その状態は、微細粒子が浮遊懸濁しており、さらに糸状の粘性物質が同様に浮遊している。比較的大きい懸濁物は池の底面を流動しており、これらは餌料残渣や排泄物、一部魚体組織片なども含まれている。攪水車を停止して水が静止状態になっても、微細な浮遊懸濁物は沈降分離しないことが見られる。畑らは、ハマチ養殖が行なわれている浦の内湾での採取試料について、懸濁物、沈降物、堆積物についてPON（粒子態有機窒素）の無機化過程を測定している³⁾（図1-2、1-3）。

同時に好氣的分解過程における好気性従属栄養細菌数の変化について測定した結果³⁾を、表1-2、1-3に表わす。

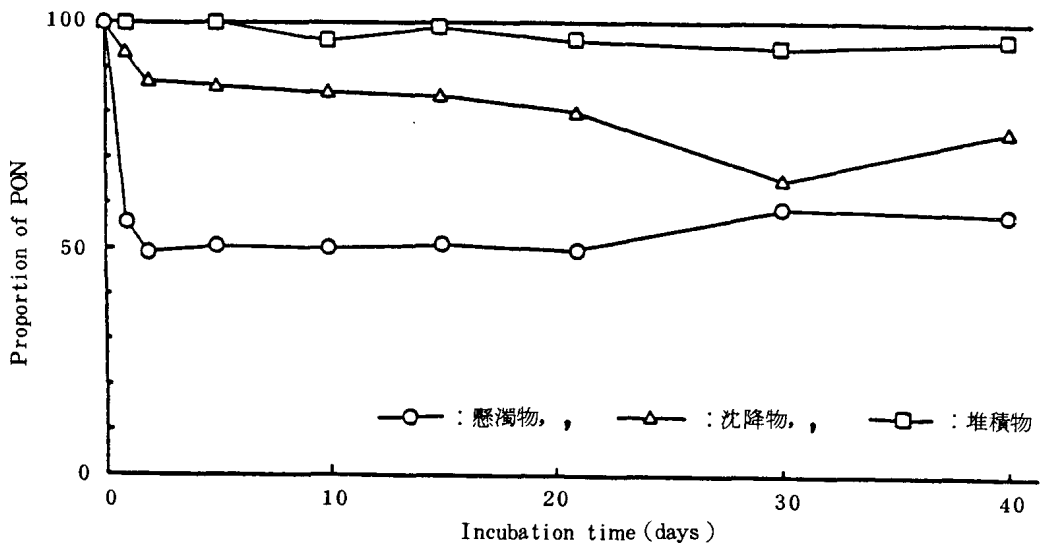


図1-2 懸濁物、沈降物および堆積物中のPONの分解・可溶化過程³⁾
 (浦の内湾 St.2, 1979年5月15日採集試料, 20℃)

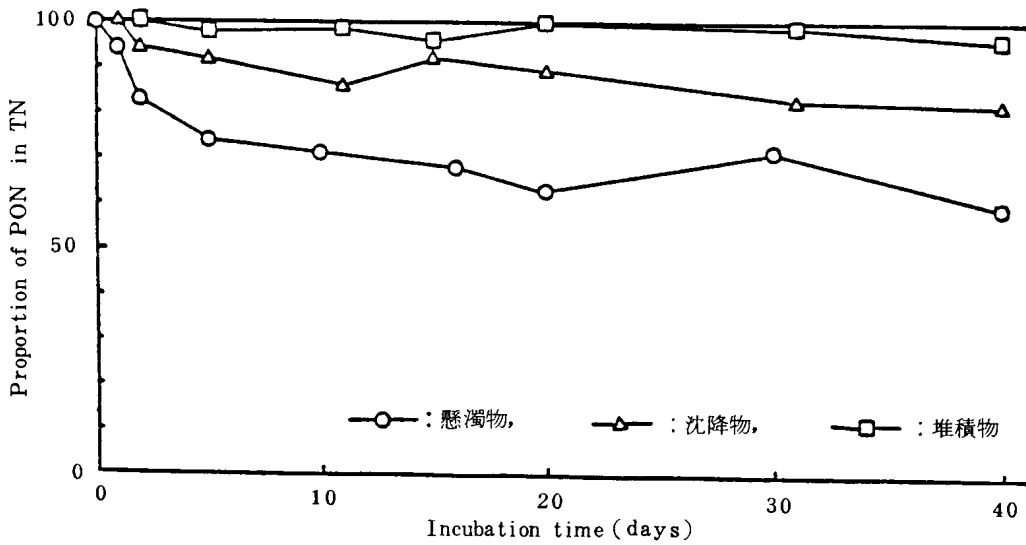


図1-3 懸濁物、沈降物および堆積物中のPONの分解・可溶化過程³⁾
 (浦の内湾St.2, 1979年11月5日採集試験, 20℃)

表1-2 懸濁物、沈降物および堆積物の好氣的分解過程中における
 好気性従属栄養細菌数の変化
 (浦の内湾St.2, 1979年5月15日採集試料, 20℃)

経過日数 (日)	従属栄養細菌数 (c.f.u./ℓ)		
	懸濁物	沈降物	堆積物
0	5.9×10^5	2.0×10^5	—
1	1.2×10^7	1.1×10^6	1.8×10^5
2	7.3×10^6	1.2×10^6	1.9×10^6
5	7.5×10^6	1.1×10^6	2.9×10^6
10	2.9×10^6	2.1×10^6	5.5×10^6
15	3.1×10^7	6.7×10^5	2.0×10^6
21	4.7×10^7	1.3×10^6	3.0×10^6
30	1.8×10^7	5.5×10^5	2.2×10^6
40	5.0×10^7	7.0×10^5	6.6×10^6

表 1-3 懸濁物、沈降物、堆積物の好氣的分解過程における
好氣性従属栄養細菌数の変化
(浦の内湾 St. 2, 1979 年 11 月 5 日採集試料, 20℃)

経過日数 (日)	従属栄養細菌数 (c.f.u./ℓ)		
	懸濁物	沈降物	堆積物
0	1.3×10^4	4.6×10^3	2.3×10^3
1	4.3×10^6	7.1×10^6	1.2×10^5
2	1.0×10^7	7.1×10^6	6.8×10^6
5	1.1×10^7	5.1×10^6	3.2×10^6
10	6.2×10^6	2.9×10^6	1.6×10^6
16	5.4×10^6	3.6×10^6	2.2×10^6
20	6.1×10^6	3.1×10^6	4.3×10^6
30	6.7×10^6	2.7×10^6	3.6×10^6
40	7.0×10^6	—	—

この表のなかで、懸濁物における細菌数が多く、細菌の繁殖に伴う分解作用がもっとも活発に行なわれていることがうかがわれる。これらの一連の実験から、海域における有機物の分解・無機化の速度について、水中表層懸濁物>沈降物>堆積物の順序で小さくなり、水中における粒子態有機物の分解・無機化は水中懸濁状態で大部分が終了し、沈降物はすでに易分解性部分が相当程度に溶脱した残滓部分で、堆積物は、その表層部といえどもいっそう分解・無機化の進行した部分であることが明らかであるとしている。ハマチ養殖とウナギ養殖では水域の性格が異なるが、表 1-4 に示された養鰻池の酸素消費量と傾向がほぼ同じであることがわかる。しかし、表 1-5 の養鰻池水の表層と底層の酸素消費量の大きな相違は、新性沈殿物によるものと思われ、水域の形態の相違を考慮すると、水深と水の流動状況が原因となって、有機物の分解の主な場が相違することがうかがわれる。

静穏で水深が浅い水域では、懸濁粒子の底面への到達が短時間に行なわれるのに対して、水が流動しているところでは粒子の沈着が妨げられ、水深が深いところでは底面への到達時間を要すると同時に、それだけ流れの影響を受けやすい。貧酸素水塊の発達などは底層部で沈降粒子の濃度が増加したこと（もやもやした濁り層）が原因と見なすこともできる。つまり有機物の微生物による分解は、酸素と微生物量が十分あれば、温度と時間の関数をもっとも大きく作用するので、これが水域の特性となる。

表1-4 養鰻池の酸素消費量⁴⁾

消費 O ₂ mg/m ³ /日		
鰻	3,700	14.7%
青粉を含む池水	12,000	47.8
底 泥	9,400	35.9
溶 出	400	1.6
合 計	25,100	100.0

表1-5 養鰻池水の酸素消費量⁴⁾

単位: mg O₂/l・日

	採 水 点		
	1	2	3
表 層	7.1	6.7	7.3
底 層	32.9	40.6	31.6

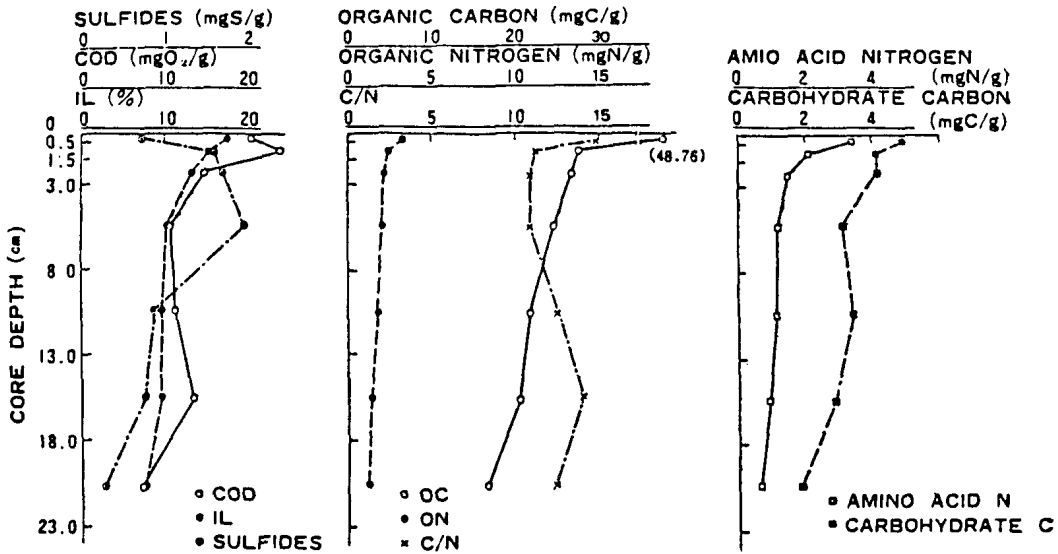


図1-4 浦の内湾の定点における堆積物の化学組成の鉛直分布 (1975年9月13日, St. 2)⁵⁾

堆積物の化学組成の鉛直分布が畑⁵⁾により測定されている(図1-4)。有機態炭素、窒素などの有機物指標は、堆積物の最表層で最高濃度になっている。この堆積物を構成する有機物が、好気性条件下では難分解性であることは確実である。難分解性有機物は、嫌気性条件下では嫌気性細菌の分解作用によって低分子化し、易分解性物に変化する。易分解性有機物は好気性条件下で分解されるので、堆積物の分解が完全に行なわれるためには、嫌気性分解が行なわれる部分の存在が必須条件となる。

汚染とは関係のない有明海の底土の間隙水と海水についての化学成分の測定が、佐賀大学で行なわれた⁶⁾。その結果の一部が表1-6である。

この試料の底泥は、干潟を形成しているもので、表層は灰色で厚さは10~20 cmあり、その下の層は黒色または黒褐色で、その下の層は灰黒色を呈し、それぞれを表1-6では上層、中層、下層としている。上層は溶存酸素量も多く、中層、下層は溶存酸素量

が少なく硫化水素臭があることから、上層は酸化状態、中・下層は還元状態であるとされている。

測定結果からは、有機物の負荷が極度に低く、干潟として干出する底泥と、有機物が連続的に負荷される底泥との違いを、より明確にわからせてくれる。

表 1-6 海水、間隙水および底土の化学成分 (mg/l)⁶⁾

No		pH	温度(℃)	HCO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Org-N	Total-N
1	海水	7.30	19.5	119	0.013	0.044	0.144	2.707	2.908
	上	8.03	18.0	483	0.025	0.174	0.156	6.129	6.484
	間隙水中	8.14	18.0	492	0.020	-0.006*	0.315	7.150	7.485
	下	8.34	18.0	578	0.004	-0.018*	0.286	13.789	14.079
2	海水	7.36	20.0	126	0.009	0.026	0.100	1.685	1.820
	上	8.29	19.0	171	0.010	0.049	0.063	9.989	10.981
	間隙水中	8.16	19.0	297	0.020	-0.003*	0.083	5.107	5.210
	下	7.84	19.0	304	0.040	-0.011*	0.127	8.427	8.594
3	海水	7.50	18.5	134	0.002	0.038	0.074	1.839	1.953
	上	7.74	20.0	486	0.005	0.169	0.262	12.768	13.204
	間隙水中	7.94	18.0	1120	0.015	0.026	0.154	14.300	14.496
	下	8.12	18.0	976	0.060	0.030	0.372	26.302	26.764

(注) * :窒素の定量値が- (マイナス) になっているのは測定期間に長いズレがあったためであると思われる。しかし、増減の傾向が明らかに見られる。

3. 動態的な汚染指標

環境汚染の実態は、各種の化学的指標により表わされるが、それらの指標には棲息する生物に対して直接指標になるものと、間接指標になるものがある。棲息生物にとっての直接影響を受ける指標としては酸素や硫化水素などがある。有機物指標は生物に対する潜在的な酸素消費指標であり、漁場においては、有機物汚染がどのような影響を与えているかは、溶存酸素濃度の絶対値で判断するのがよい。すでに述べたが、有機物が好気性細菌による分解をうけ、さらに有機物により繁殖した細菌が酸素呼吸を行なっていることから、その酸素消費の実態は、酸素供給との平衡値として知ることができる。

有機物指標としてCODやTOC, TONなどが測定されていても、酸素消費の実態をそれらの数値から読み取ることには問題がある。これらの指標で表わされた有機物が、易分解性であるか、難分解性であるかによって、その評価は相当に違ってくる。環境指標として直接測定結果が用いられるのは、酸素消費量と有機物に関してはBODで

ある。このBODは細菌などの呼吸酸素量を直接測定したものであり、堆積物の酸素消費に対する関わりなどを定量的に把握することができる。

図1-5にBOD測定曲線を示す⁷⁾。

環境改善技術において最も重要なことは、有機物を微生物により好気性分解する場合に、どれだけの酸素量を供給すればよいのかなど、その原単位を明確にすることで、特に酸素が環境改善の鍵をにぎる場合には、有機物指標にBODを用い定量化しておかねばならない。泥についても同様である。

BODは一定期間内の累積値であり、それを短時間で測定しているのが酸素消費量測定である。事例として養鰻池泥の測定結果⁴⁾を図1-6に示す。同様に琵琶湖湖泥の測定結果⁸⁾が図1-7である。いずれも泥を水に懸濁させての測定値であり、底泥表面のみによる酸素消費ではない。

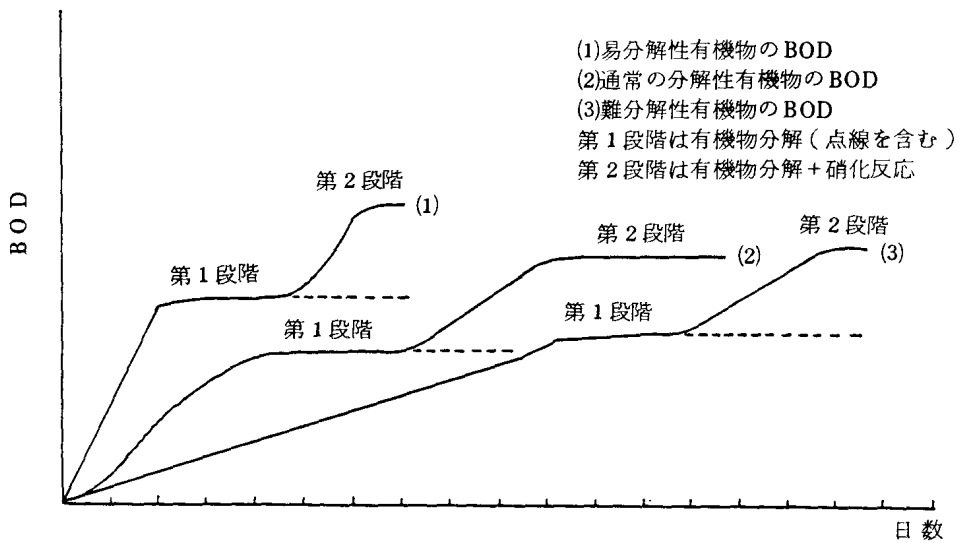


図1-5 BOD測定(加算)曲線

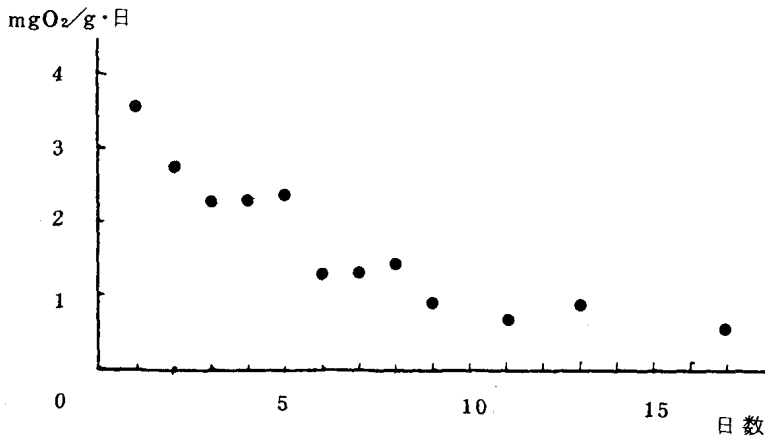


図1-6 養鰻池泥の酸素消費量

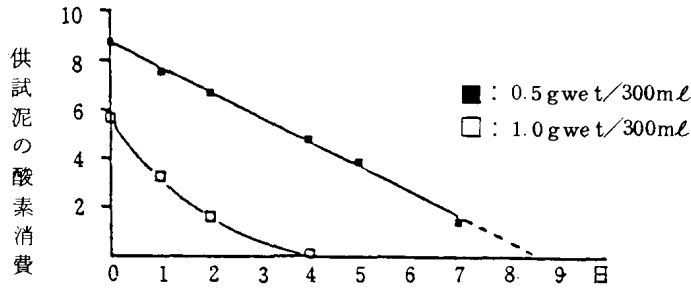
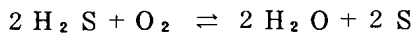


図1-7 泥の酸素消費の経日変化⁸⁾

これらの指標を用いて、底質改善試験を行なった結果を紹介する⁹⁾。琵琶湖の彦根港湾において、図1-8に示す防水膜を遮断膜とした4 m × 4 mの試験水域を3区画用意し、1区画を除き図1-9の水中バッキレーターを設置し、連続運転区と間歇運転区を設けて試験したもので、その結果を図1-10、1-11に示す。

水中バッキレーターの酸素供給能力については、基本となるのは泥の酸素消費量であり、別の要素としては攪拌能力が機種を選定基準として用いられる。

図1-7と同様に、実験室での泥の曝気試験結果⁹⁾を図1-12に示す。このような試験により、曝気として必要な酸素供給量を把握する。硫化水素については次の反応式から酸素の必要量を求める。



この反応は無機反応であるが、硫酸イオンまでは酸化細菌の反応により行なわれ、この細菌も普遍的であるので、次の反応に必要な酸素までを求める必要がある。



溶存酸素を主体として、水や泥の酸素消費量を測定すれば、それが即環境の管理指標として使うことができるので、あまり直接役立たない指標に振り回されることのないよう、環境条件把握の測定項目の選定がなされねばならない。

4. 温度の有機物分解に対する影響

ハマチ養殖漁場の底土について、無機態窒素の溶出過程に対する温度の影響が測定されている³⁾(図1-13、1-14)。

10℃でも20℃の場合と大差なく、現場海域では低水温期にも有機物の無機化と溶出が進行していることを物語っているとしている。このことは底質の改善が、養殖による汚濁負荷量の少ない時期に着実に行なわれているとしていることから、漁場としては

比較的恵まれたところであろう。20℃と30℃の比較では高温であるほど、単位時間内の酸素消費量の大きいことがうかがわれる。酸素供給速度は年間を通じてあまり変化がないとすれば、酸素消費速度の早まりは貧酸素や無酸素水塊が出現しやすいことを示している。

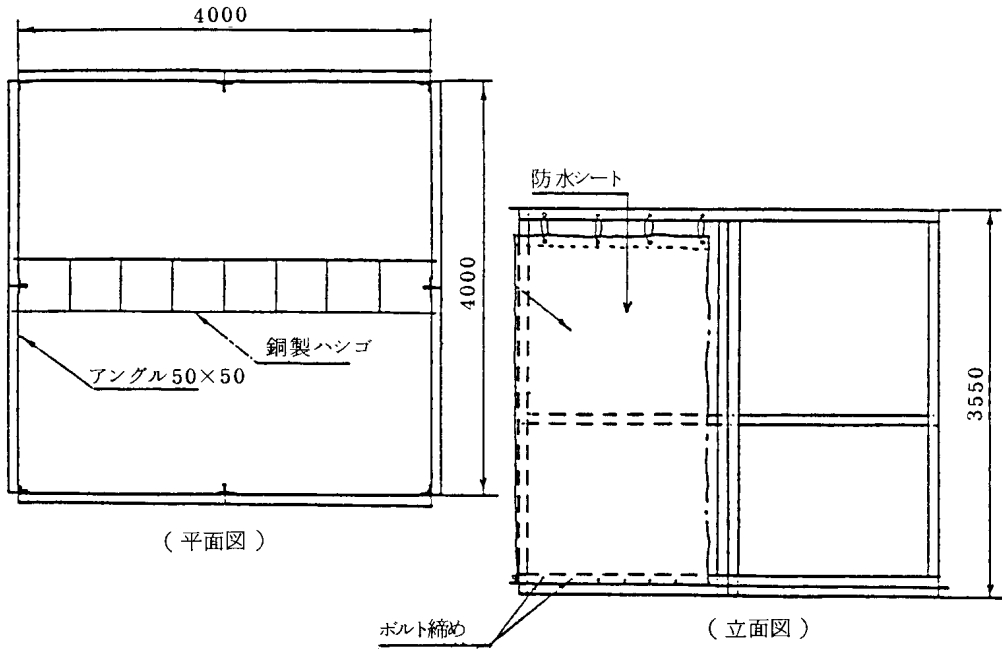


図 1-8 隔離枠略図

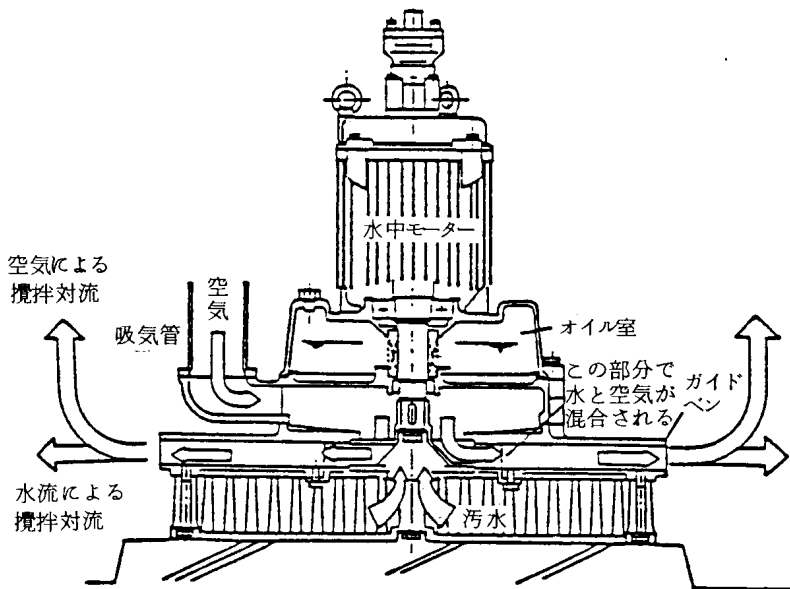


図 1-9 水中パッキレーター略図

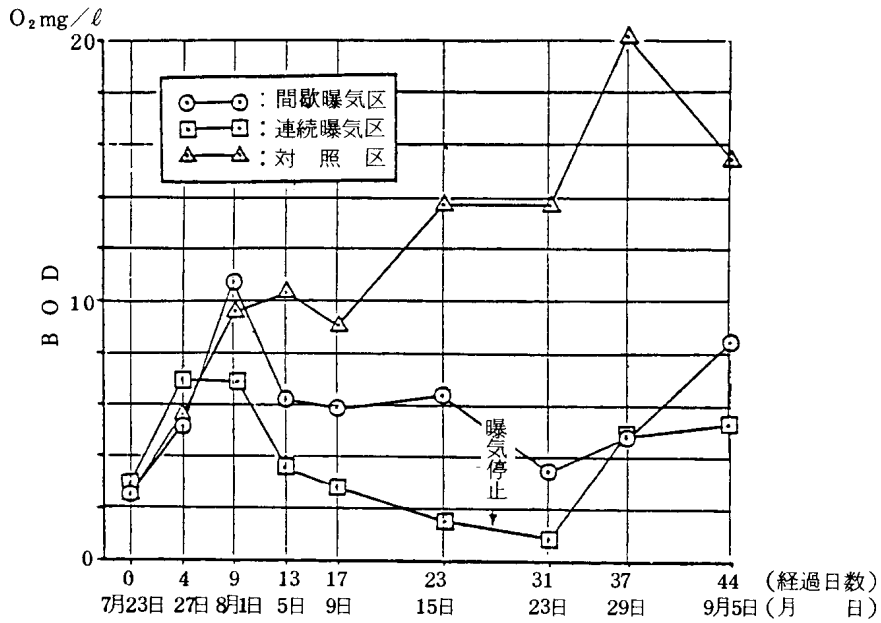


図1-10 水相BODの経日変化⁹⁾

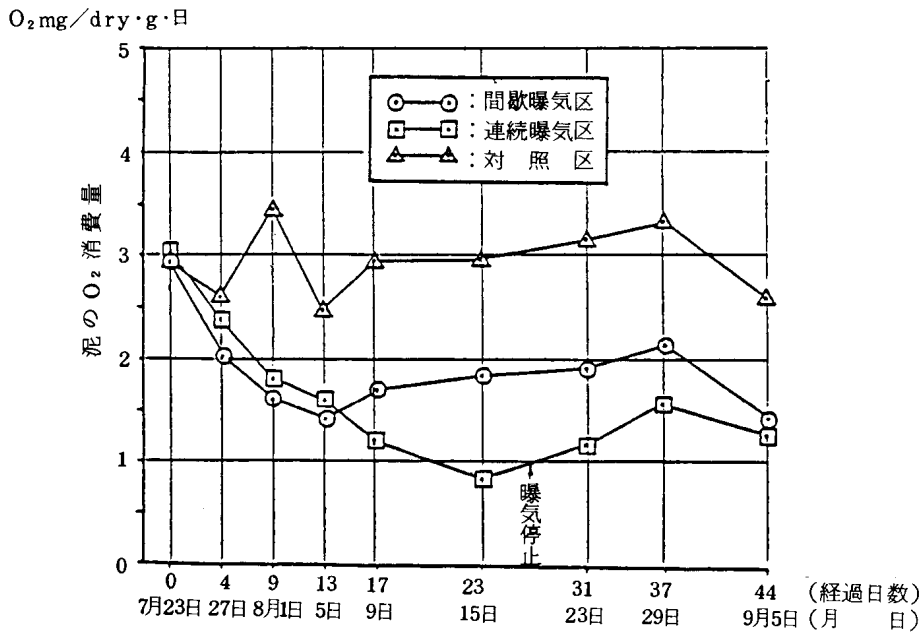


図1-11 底泥酸素消費量の経日変化⁹⁾