

# 魚類養殖場環境保全調査事業

西村 昭史・井上 美佐・栗山 功

## 目 的

本県の魚類養殖漁場において、漁場の悪化を防止し、将来にわたって養殖可能な漁場環境を維持していくために必要な底質環境基準を設定して、漁場管理の適正化を図る。

## 方 法

### 1. 漁場環境調査

採泥はエクマンバージ採泥器を改良した横山式コアーサンプラーを用い、採泥管には外径50mm、内径46mm、長さ220mmのアクリル管を使用した。コアー上部の直上水は酸素瓶に採取してウィンクラー法による溶存酸素測定に供し、底泥は表層1cmを切り取って密封冷蔵して持ち帰った。底泥は直ちに0.5mm目合いの篩を通した後、AVS (Acid Volatile Sulfide) を検知管法で、CODをアルカリ法で測定した。一部の試料についてはHACH社のBODメーターを用い、2週間インキュベートしてSOD (Sediment Oxygen Demand) を求めた。残りの試料は90℃で24時間乾燥させた後デシケータに保存し、TOCおよびTNをヤナコMT 700CNコーダーで、TPを過硫酸カリウム分解処理後 Strickland & Parsons (1972) の方法で測定した。

調査日は下記のとおりである。

磯 浦；平成10年5月21日/8月31日/10月20日/  
平成11年2月19日

尾 鷲；平成10年5月20日/8月28日/10月21日/  
平成11年2月17日

二木島；平成10年5月22日/8月28日/10月19日/  
平成11年2月23日

全漁場；平成10年8月24日～9月4日/  
平成11年2月17日～2月25日

### 2. 汚染負荷調査

上記3漁場において漁協資料を基に平成5～10年の餌料種類別取扱量および魚種別出荷量を調査した。これらから年間の給餌および出荷によるC、N、P量の収支を算出し、給餌量から出荷量を差し引いた値を漁場へのC、N、P負荷量と算定した。なお、算出の基礎とした餌料

および魚体のC、N、P含量は表1のとおりである。

表1 餌料および魚体のC、N、P含量

		C %	N %	P %	水分 %
出荷魚	マダイ	15.0	3.0	1.0	70
	その他(ブリ)	15.0	3.0	0.6	70
餌料	魚類(マイワシ)	23.0	2.7	0.5	70
	エビ類(オキアミ)	8.8	1.9	0.3	80
	配合飼料	45.0	7.2	2.0	10

### 3. 底泥の酸素消費速度測定

磯浦および尾鷲漁場において、外径58mm、内径52mm、長さ220mmのアクリル管を着装した横山式コアーサンプラーを用いて底泥を直上水とともに採取し、これに外径50mm、内径46mm、長さ450mmのアクリル管を差し込んで底泥を乱さないよう移し替え、直上水を酸素飽和濾過海水で置換してDOが6mg/lになるよう調整し、アクリル管部分を25℃のウォーターバス中に入れ、DOの変化を10分ごとに約24時間測定記録した(図1)。測定終了後直ちに供試泥の表層1cmを採取し、AVSおよびCODを測定した。

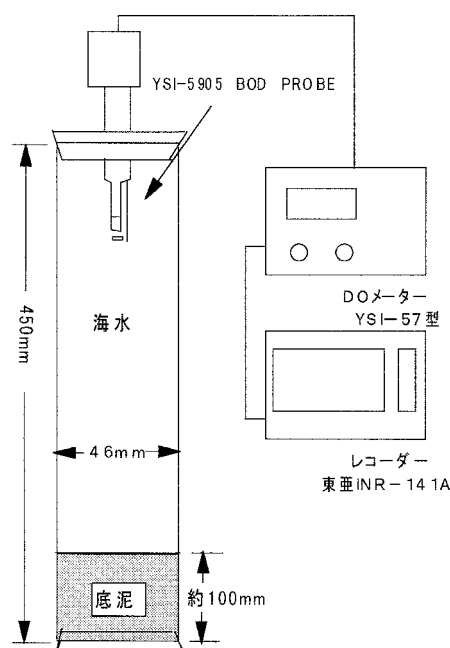


図1 底泥酸素消費速度測定装置

#### 4. 底生生物調査

全漁場調査に合わせて実施した。県下24漁場のそれぞれ2～3地点でエクマンバージ採泥器（20cm×20cm）を用いて採泥し、0.5mm目合いの篩上に残ったものを中性ホルマリンで固定して持ち帰った。以後のソーティングおよび種の同定、計数等は養殖研究所横山博士によって行われた。なお、平成9年度の5、7、10、1月における調査結果についても解析を行った。

#### 結果および考察

##### 1-1 主要漁場底質環境調査

磯浦、尾鷲、二木島における底質の変化を図2に示す。AVS（硫化物量）は全般に磯浦で高く、二木島で低く、尾鷲ではその中間で推移した。磯浦では夏季から秋季に

増加して冬季に減少する明瞭な季節変化が認められたが、尾鷲と二木島では季節変化は明瞭でなかった。底泥の硫化物は偏性嫌気性菌である硫酸塩還元菌によって生成されることから、磯浦では夏秋季に底層が貧酸素化するのに対して、尾鷲および二木島では貧酸素化がほとんど生じないことが示唆される。TOC（全有機炭素量）、TN（全窒素量）およびTP（全燐量）ともAVSと同様磯浦で高く二木島で低かったが、これらは季節変化をほとんど示さなかった。磯浦では'93～'94年6月までの全項目の値がそれ以降に比べて低かった原因は不明である。二木島では他の2漁場よりC/P比が低く、炭素や窒素に比べて燐は海底に蓄積される傾向にあることがわかる。このことは給餌によって漁場に負荷される燐は炭素や窒素ほど分解溶出しにくいことを示唆している。

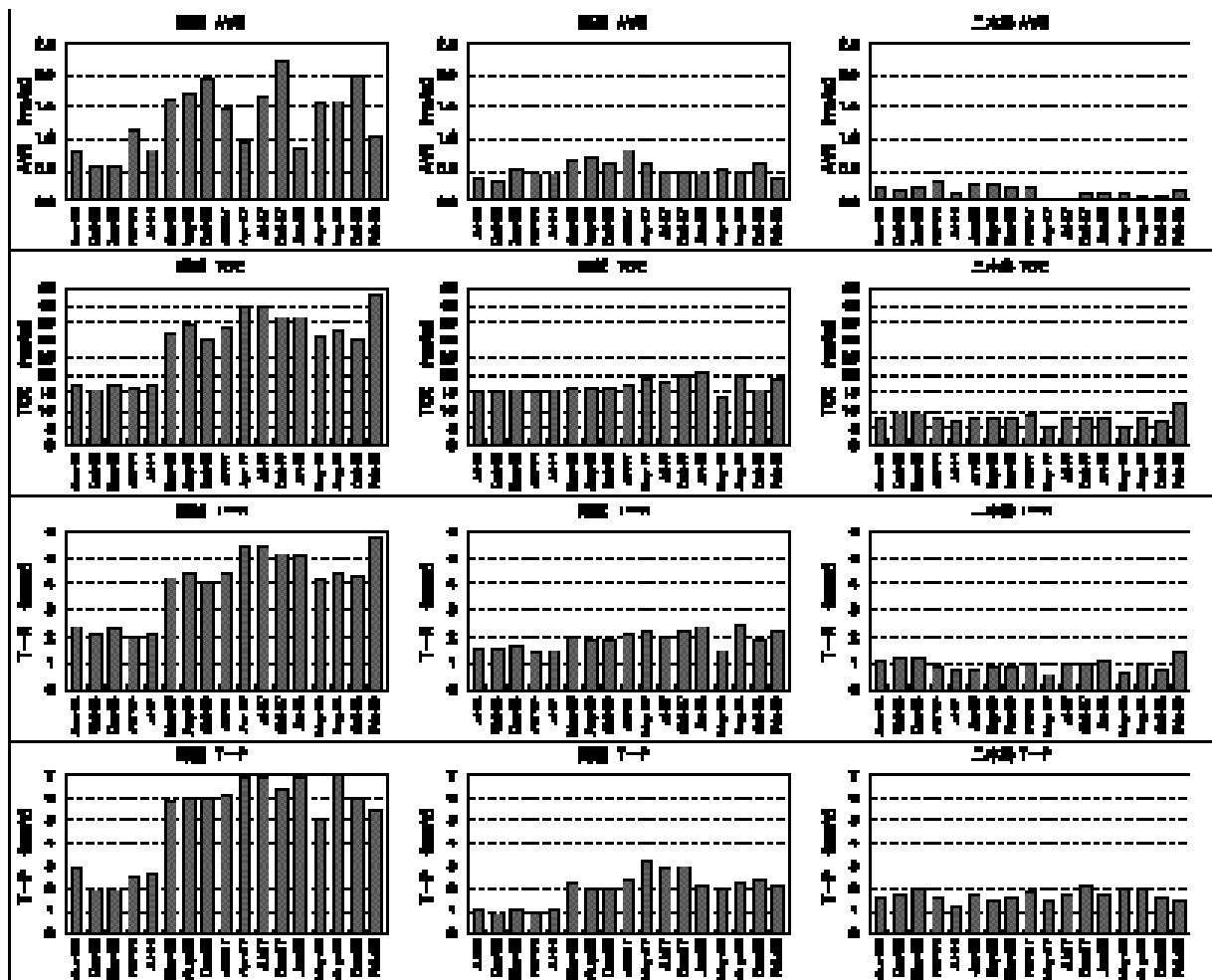


図2 3漁場におけるAVS、TOC、TN、TPの季節および年変化

3 漁場のデータを用いて底泥のAVSが漁場汚染の指標になりうるかの検討を行った。AVSとCODおよび易分解性有機物の指標であるSODとの間には正の相関が認められ (P<0.01), AVSが底質汚染の指標になりうることを示された (図3)。このことから、今後漁場環境指標はAVSを軸に検討を行いたい。

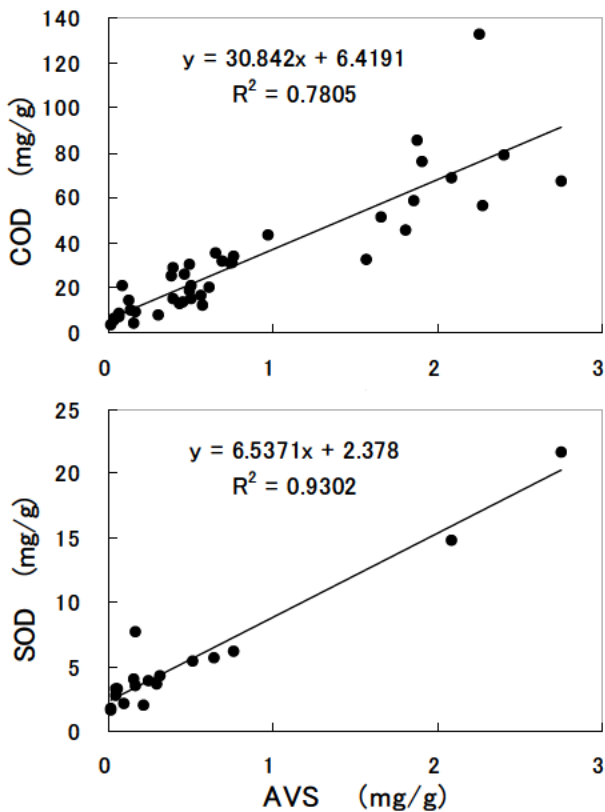


図3 底泥中のCODおよびSODと硫化物量の関係

### 1-2 全魚類養殖漁場底質調査

夏季の調査時では全体的にみて北部の漁場ほど底質が悪化傾向にあり、特に五ヶ所湾奥部漁場で汚染が進行しているように見える (表2)。桂城湾周辺や二木島漁場では底質は比較的良好で、湾の開放度が底質と関連していると推察される。冬季調査時では水温およびAVSが低下してDOが上昇しているが、その他の項目の平均値はほとんど変化が少なく、全体の傾向は夏季とほぼ同様であった。しかし、五ヶ所湾奥部漁場ではTOCとTNが冬季の方が著しく高くなっており、その原因は不明である (表3)。

夏季調査の結果とほぼ同様の調査が行われた'94年7月の全漁場調査結果を比較してみると、底質汚染の指標であるAVS値は礫浦と迫間浦漁場で増加した以外はほ

とんど変化なしあるいは減少しており、全体的には漁場環境は改善されているように見える (図4)。一方、魚類養殖漁場に特有の底質のTPは増加している漁場が多く (図5), ここでも燐は海底に蓄積されていく傾向にあることがうかがえる。

表2 夏季の漁場別底質の平均値 (1998 24 Aug. 4 Sep.)

漁場名	TOC mg/g	TN mg/g	TP mg/g	COD mg/g	AVS mg/g	DO mg/l	泥分 %
寮浦	16.8	2.19	1.59	18.4	0.22	4.8	31.9
神原	22.8	2.69	3.38	68.0	1.72	2.9	42.6
五ヶ所浦	24.2	3.15	1.94	61.6	1.53	4.2	62.2
迫間浦	40.3	5.48	8.49	91.7	2.96	0.0	30.2
礫浦	32.3	4.46	6.99	73.9	1.55	0.2	(43.5)*
相賀浦	2.7	0.50	0.26	0.4	0.00	6.4	1.1
阿曾浦	2.0	0.43	1.25	0.9	0.05	6.0	4.2
奈屋浦	9.9	1.34	2.15	20.0	0.39	2.5	30.6
神前浦	24.2	3.21	3.58	30.7	0.74	5.6	42.2
方座浦	11.6	1.64	1.75	26.6	0.19	5.0	53.0
古和浦	14.1	1.98	1.35	28.4	0.36	3.8	22.1
鍋	8.0	1.18	1.14	16.1	0.51	5.8	24.7
海野	8.7	0.87	0.81	5.4	0.05	6.3	2.1
道瀬	8.1	1.15	0.92	8.7	0.08	6.3	8.3
三浦	10.4	0.83	0.38	3.3	0.02	6.5	2.7
白浦	3.7	0.60	0.94	8.9	0.08	6.5	8.3
引本	17.8	2.07	2.17	26.9	0.34	5.4	67.3
須賀利	12.4	1.74	3.69	23.3	0.34	5.7	26.4
尾鷲	19.9	2.49	2.25	25.4	0.46	6.0	(63.0)*
大管根	17.9	2.43	2.55	27.3	0.55	5.9	60.8
三木浦	5.2	0.64	1.54	11.2	0.05	6.5	15.6
古江	6.4	0.90	1.06	11.2	0.05	6.5	18.4
曾根浦	14.6	1.77	2.95	26.8	0.22	5.8	23.4
二木島	6.7	0.92	2.04	10.4	0.09	6.4	17.5

\*5月調査時

表3 冬季の漁場別底質の平均値 (1999 17 25 Feb.)

漁場名	TOC mg/g	TN mg/g	TP mg/g	COD mg/g	AVS mg/g	DO mg/l
寮浦	8.6	1.16	0.79	15.0	0.05	8.6
神原	29.8	3.72	1.80	65.1	0.96	8.4
五ヶ所浦	30.7	3.50	2.28	55.8	0.78	8.3
迫間浦	48.9	6.56	6.38	65.9	1.17	8.3
礫浦	42.2	5.75	5.38	58.3	1.01	8.7
相賀浦	2.3	0.39	0.34	1.3	0.00	7.8
阿曾浦	4.9	0.79	1.07	6.4	0.12	7.4
奈屋浦	3.7	0.53	0.44	14.8	0.11	8.1
神前浦	24.6	3.13	2.12	44.2	0.77	7.8
方座浦	12.8	1.72	1.34	21.5	0.27	7.6
古和浦	13.1	1.81	1.53	22.6	0.25	8.1
鍋	9.2	1.28	0.90	15.7	0.21	7.2
海野	3.4	0.49	0.44	2.6	0.01	8.4
道瀬	3.9	0.62	0.61	4.9	0.03	8.8
三浦	1.8	0.35	0.44	1.7	0.00	8.6
白浦	3.2	0.49	0.30	3.7	0.02	8.8
引本	9.9	1.44	3.07	15.7	0.36	7.9
須賀利	8.4	1.16	1.27	13.1	0.08	7.6
尾鷲	18.8	2.15	2.13	32.3	0.34	7.8
大管根	12.3	1.53	1.49	20.8	0.22	7.7
三木浦	30.4	4.01	3.95	16.9	0.13	7.4
古江	6.9	0.71	0.82	8.3	0.07	7.4
曾根浦	9.8	1.30	2.01	22.5	0.27	6.8
二木島	11.4	1.36	1.46	12.3	0.15	7.3

## 2. 汚染負荷調査

主要3漁場とも平成7年以降配合飼料への依存度が急速に高まり、平成10年には二木島では若干低下したものの礫浦および尾鷲で上昇し、尾鷲では乾物換算で80%以上を配合飼料が占めるようになった(表4)。

投餌量から生産物として取り上げた量を差し引いた値を漁場への負荷量とすると、二木島では配合飼料への依存度が高まるにつれC、N、P負荷量は減少しているが、礫浦および尾鷲ではその傾向が明瞭でない。また、生産量1トン当たりのC、N、P負荷量を算出すると、二木島に比べて礫浦および尾鷲では負荷量が大きく、配合飼料への切り替えに伴う給餌量の調整が適切に行われていない可能性が示唆される(表5)。

表4 乾物換算による配合飼料の比率

年	礫浦	尾鷲	二木島
H5	47.9%	52.0%	33.5%
H6	46.2	57.0	46.3
H7	64.0	67.0	68.9
H8	63.8	69.3	72.0
H9	62.8	72.4	76.1
H10	66.5	82.0	69.3

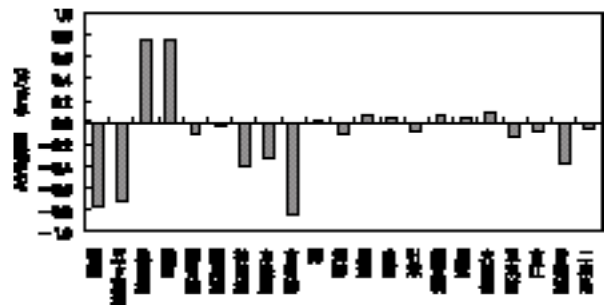


図4 1994年7月から1998年8月間での各漁場におけるAVS値の変化量

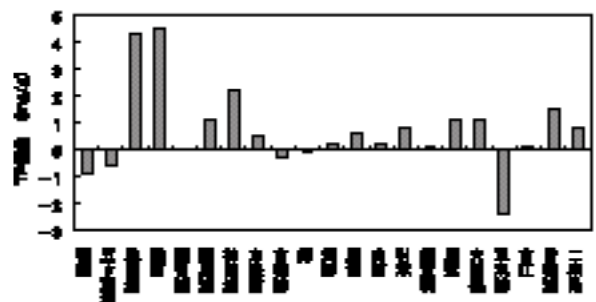


図5 1994年7月から1998年8月間での各漁場におけるTP値の変化量

表5 礫浦、尾鷲、二木島における年間C・N・P負荷量

年		給餌量 (ton)			収穫量 (ton)			負荷量 (ton)			生産量当たり負荷量 (kg/t)		
		C	N	P	C	N	P	C	N	P	C	N	P
H5	礫浦	935	126	28.6	93	19	5.2	842	108	23.4	1356	174	38
	尾鷲	1610	221	50.7	181	36	11.8	1429	185	38.9	1185	153	32
	二木島	1394	185	39.1	137	27	9.1	1258	157	30.0	1381	173	33
	平均	1313	177	39.5	137	27	8.7	1176	150	30.8	1307	166	34
H6	礫浦	1042	139	31.3	57	11	3.1	985	128	28.2	2592	337	74
	尾鷲	1673	232	54.5	113	23	7.3	1560	210	47.2	2075	279	63
	二木島	1182	163	36.4	101	20	6.7	1081	143	29.7	1609	213	44
	平均	1299	178	40.7	90	18	5.7	1209	160	35.0	2092	276	60
H7	礫浦	1048	149	35.9	88	18	4.5	960	131	31.3	1644	225	54
	尾鷲	1549	223	54.4	111	22	6.9	1438	201	47.5	1948	272	64
	二木島	1015	152	37.1	97	19	6.5	918	133	30.6	1414	205	47
	平均	1204	175	42.5	99	20	6.0	1105	155	36.5	1669	234	55
H8	礫浦	887	126	30.3	84	17	4.3	804	109	26.0	1437	195	46
	尾鷲	1351	196	48.2	121	24	7.5	1230	172	40.7	1524	213	51
	二木島	905	136	33.7	80	16	5.3	826	120	28.4	1555	227	53
	平均	1048	153	37.4	95	19	5.7	953	134	32.0	1505	211	50
H9	礫浦	949	133	32.0	57	11	3.1	892	122	29.0	2326	317	76
	尾鷲	1455	213	53.0	111	22	7.2	1344	191	45.8	1809	257	62
	二木島	847	129	32.4	104	21	6.9	743	108	25.5	1070	156	37
	平均	1084	158	39.1	91	18	5.7	993	140	33.4	1735	243	58
H10	礫浦	1058	150	36.5	79	16	4.2	979	134	32.3	1852	253	61
	尾鷲	1501	221	55.3	122	24	7.7	1379	196	47.6	1696	241	59
	二木島	404	62	15.0	82	16	5.5	322	45	9.5	588	82	17
	平均	988	144	35.6	94	19	5.8	894	125	29.8	1379	192	46

### 3. 底泥の酸素消費速度の漁場環境指標としての検討

武岡・大森(1996)に基づき酸素消費速度とAVSの関係を明らかにするため、堆積物コアを用いた閉鎖系による酸素消費速度の測定を行った。一般的に閉鎖系での溶存酸素の減少は次式の指数曲線で表せる。

$$C_t = C_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{①}$$

$C_0$  : 初期DO

$C_t$  : t時間後のDO

$\lambda$  ; 減少係数

①式から

$$dC/dt = -\lambda \cdot C_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{②}$$

となり、t時の酸素消費速度が求められる。 $\lambda$ を水温、易分解性有機物量、バクテリア相などの変数による関数と考え、酸素消費速度はそれ以外に初期DOによっても変化することになる。このため、水温および初期DOを一定にして酸素消費を測定し、t=0時の酸素消費速度、すなわち水温25℃、初期DO6mg/ℓでの酸素消費速度のポテンシャルを算出してAVSとの関係を求めた。酸素消費速度と底泥AVSの関係には明瞭なピークは認められないが、AVSが1mg/gまではAVSの増加とともに酸素消費速度も大きくなり、AVSが1mg/g以上になると酸素消費速度はあまり変化しなくなる傾向がみられた。AVSが2mg/g以上のデータが無いので多少無理があるものの2次曲線を当てはめると、AVS(X)と酸素消費速度(Y)の間に $Y = -47.762X^2 + 140.27X + 11.042$ の関係が得られ( $P < 0.01$ )、AVSが1.47mg/gのところ、酸素消費速度のピークが求められた(図6)。

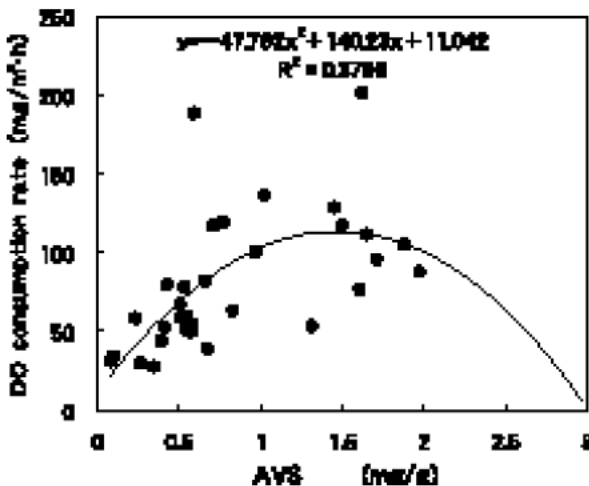


図6 底泥中の硫化物量と酸素消費速度の関係

この値は既知の愛媛県遊子漁場での0.07mg/g(大森1990)や同県下波湾での0.38mg/g(愛媛県1995)に比べて著しく高い。このことは酸素消費速度とAVSの関係が普遍的なものでなく、漁場によって変化することを示唆している。これは酸素消費速度が酸素の供給と消費のバランスの結果として表れることから、漁場や季節によって大きく変動するのは必然であると考えられ、両者の普遍的な関係を現場あるいは実験から得るのは困難であり、底泥の酸素消費速度を基にした漁場環境指標の設定には無理があるように思われる。

### 4. 底生物調査

平成9年5月、7月、10月および平成10年1月に礪浦、尾鷲、二木島の各漁場5地点において底生物調査を実施した。調査時の海底直上のDOは5月から10月には低下して尾鷲では5mg/ℓ以下に、礪浦では3mg/ℓ以下にまで減少したが、1月には7mg/ℓ以上に回復した。一方、二木島では年間を通じて6~7mg/ℓ存在し、大きな変動はみられなかった。

底生物の現存量および個体数は二木島では年間を通じて多かったが、礪浦では大きな季節変化を示し、夏季から秋季に激減して無生物状態といえるほどになった。尾鷲では現存量は夏季から秋季に若干減少したものの、個体数は年間を通じて比較的安定していた。また、下記に示すShannon Wienerによる種の多様性指数は尾鷲が周年を通じて最も高く安定していた(図7)。

Shannon Wienerの情報量指数

$$H'(\text{bit}) = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

$$S; \text{種類数} \quad P_i = \frac{n_i}{N}$$

これらのことは、魚類養殖漁場では底層DOが充分存在すれば、底生物は残餌などを利用して増殖することを示唆している。底生物は有機物を摂餌して物質循環を促進し、底質環境維持に大きな役割を果たしていることから、底生物の漁場環境指標として有効性について検討してみる。底生物調査には多大な労力と専門的知識が必要で、底生物を直接指標として利用するのは不適當である。そこで、測定が容易で有機物汚染の指標である底泥のAVSと底生物の関係を明らかにし、底生物が増殖できる限界のAVS値を漁場環境保全指標として想定した。上記の調査から夏秋季におけるAVSと底生物の関係を求めると、AVS値が1mg/g以下では底生物の増殖が活発であり、種の多様性も保たれるが、2mg/g以上では底生物はほとんど存在しなくなって

いた (図8)。また、今年度夏季の全漁場調査から、AVS値が1.5mg/g以下であれば底生生物が増殖できることが明らかになった (図9)。このことから、AVSを漁場環境保全指標とすることは妥当であり、その限界値は1.5mg/g付近にあるのではないかと推定される。

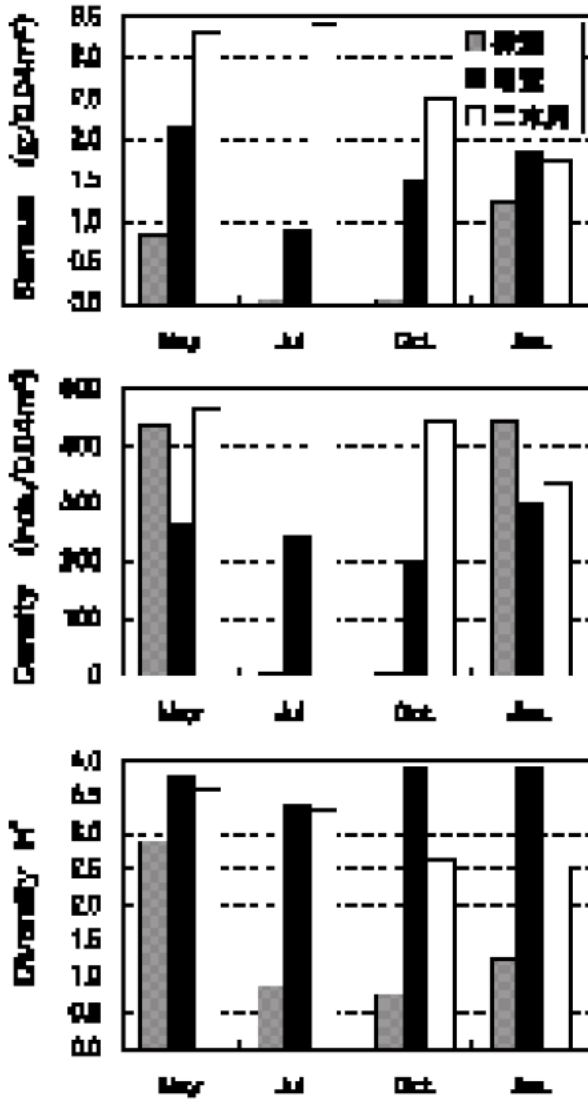


図7 3漁場における底生生物の季節変化

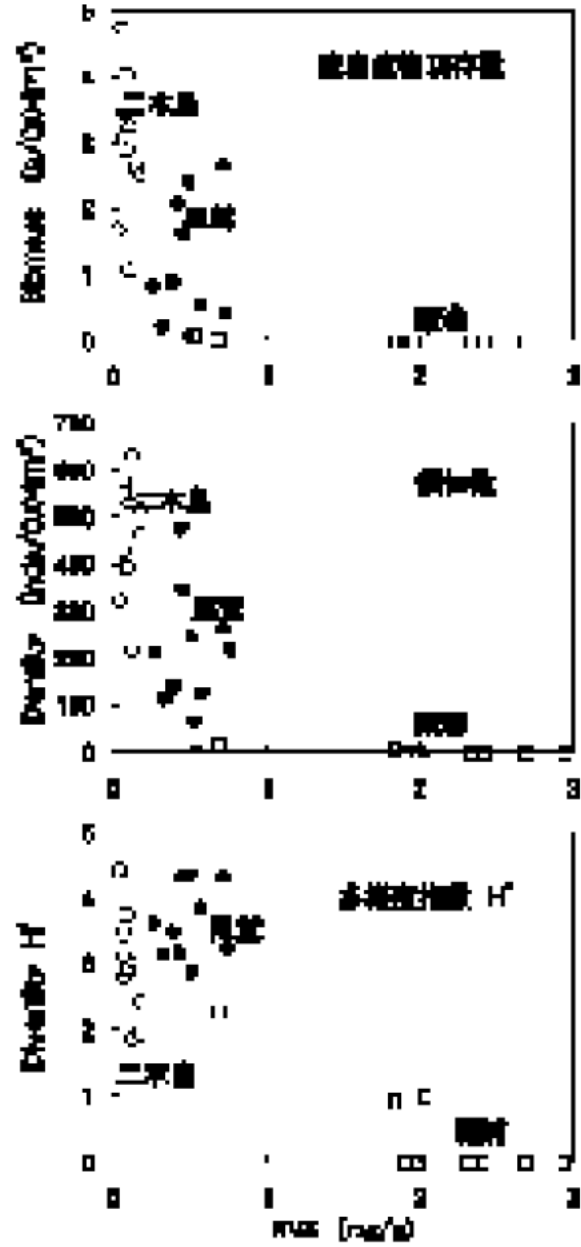


図8 3漁場の夏秋季における硫化物量と底生生物の関係

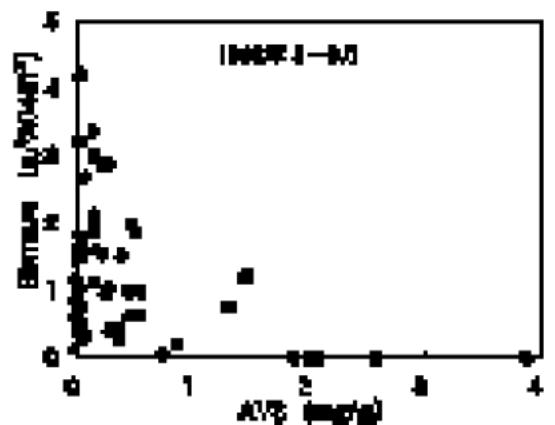


図9 1998年夏季の魚類養殖漁場における硫化物量と底生生物の関係