

平成13年度環境保全型養殖普及推進対策事業

報 告 書

平成14年3月

和歌山県農林水産総合技術センター

水産増殖試験場

目 次

I 調査の概要	53
1 目 的	53
2 全体計画	53
3 調査実施機関および担当者	53
II 調査研究結果	53
1 漁場環境調査	53
2 飼育状況調査	58
3 給餌に伴う残餌・糞の負荷と水、底質の関係	63
4 底泥の酸素消費速度調査	67
5 魚類養殖に伴う汚染負荷物質の収支	69
6 漁場配置と有機物の拡散状況	71
7 県内の養殖場における底質環境	80
III 文 献	84

I 調査の概要

1 目的

田辺湾をモデル水域にして養殖状況や漁場環境を調査し、漁場の利用方法と漁場環境の関係を定量的に解析する。また、ここでの解析結果をもとに漁場改善計画における各項目の基準値を達成するための利用方法のガイドラインを策定し、環境保全型の養殖技術を確立するための資料を得る。

なお、田辺湾と比較するために一部の調査については串本浅海漁場と湯浅湾小引浦でも行った。

表1 全体計画

2 全体計画

表1に示す。

調査項目	12	13	14	15
(1) 養殖状況と漁場環境の相互関係の検討				
① 既往資料の解析調査	0	0		
② 飼育状況調査	0	0	0	0
③ 環境調査	0	0	0	0
④ 残餌と糞の負荷量調査	0	0	0	
⑤ 底泥の酸素消費速度調査		0	0	0
⑥ 水槽実験	0	0	0	
⑦ 漁場配置と有機物の拡散	0	0	0	0
(2) 環境改善計画の策定と環境指標の関係		0	0	0

3 調査実施機関および担当者

和歌山県農林水産総合技術センター 水産増殖試験場

主任研究員 竹内照文 (主担当)

研究員 田中俊充

研究員 嶋本有志

II 調査研究結果

1 漁場環境調査

田辺湾、串本浅海漁場と湯浅湾小引浦において1年のうちで漁場環境が最も悪化する夏季の高水温期に環境調査を実施し、漁場環境の現況について検討した。

方 法

調査は田辺湾 (図1の10定点) では8月13日、串本浅海漁場 (図2の11定点) では8月3日、また、湯浅湾小引浦 (図3の6定点) では8月8日に行った。調査項目は水温、塩分、溶存酸素量、COD、AVSとマクロベントスである。採水は北原式採水器を用い表層と海底上1m層 (底層) で

行った。採泥はエクマンバージ型採泥器（採泥面積 0.0225m^2 ）を用いて表面泥（ $0\sim 1\text{cm}$ 層）を採取し、CODとAVSの分析に供した。また、マクロベントスについてはエクマンバージ型採泥器で2回採泥し、 1mm 目合いのフルイに残ったものをマクロベントスとし、実体顕微鏡を用いて多毛類、棘皮類、節足類、軟体類とその他に区分して計数した後、湿重量を測定した。

分析方法は以下のとおりである。

水温：棒状水銀温度計

塩分：ヨーカル社製サリノメーター Model 601MK-III

溶存酸素量：アジ化ナトリウム変法による

COD：漁場保全対策推進事業調査指針¹⁾による。

AVS：漁場保全対策推進事業調査指針¹⁾による。

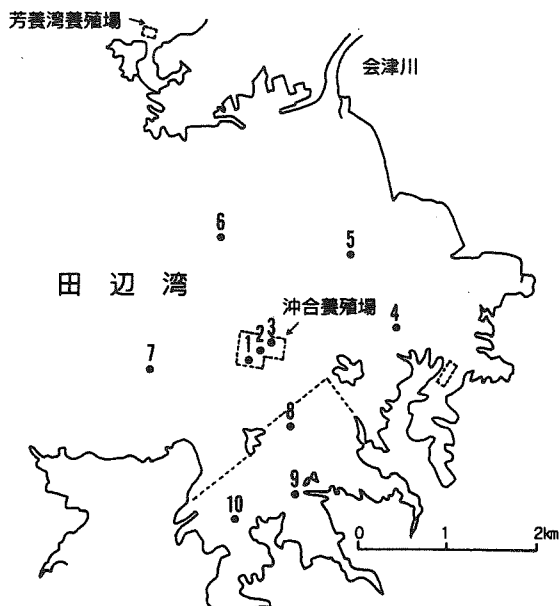


図1. 田辺湾における調査定点
養殖場は図中の点線内で示す。

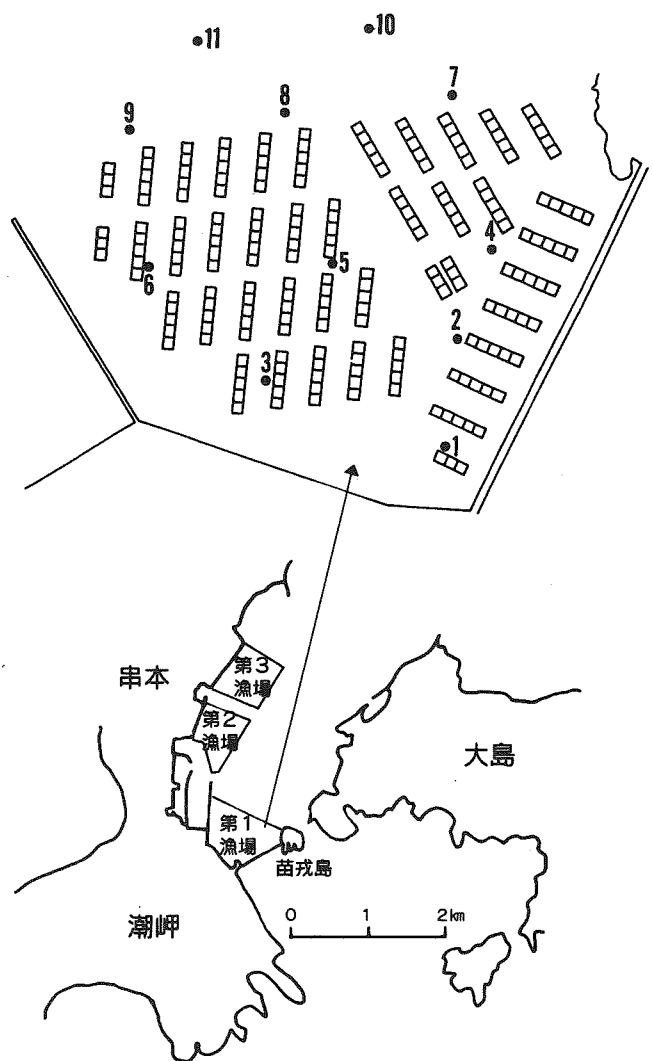


図2. 串本浅海漁場における生簀配置と調査定点

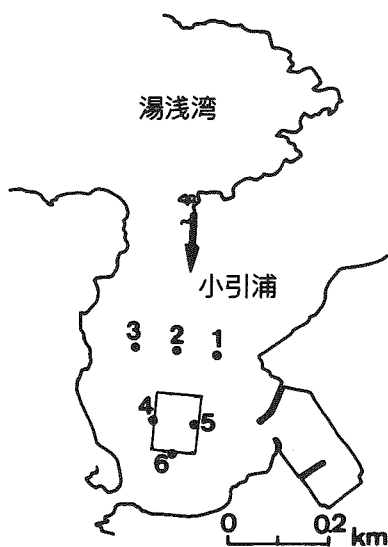


図3. 湯浅湾小引浦の生簀配置と調査地点

結果および考察

1) 田辺湾

水温は表層では27、28℃台で均一な分布を示した。底層では25～27℃台で湾中央部から南部域でいくぶん低かったが、湾口部から北、東部域では高く、ここでは表層と底層の水温差がほとんどなかった。また、塩分は表層では32.00、33.00台、底層では33.00台で均一な分布を示した。水温、塩分の分布から、この時には湾内への外海水の浸入が弱く、海水の停滞していた状況が窺えるが、このような状況の中、溶存酸素量は表層では湾口南側を除くと7mg/l台で飽和状態にあったが、底層では南部域の養殖場周辺が5.0mg/l以下に低下し、奥部では3mg/l台で貧酸素水塊が形成されていた(図4)。

底泥中のCODとAVSはともに良く似た分布を示し、養殖場のある南部域ではCODが20mg/g-dry以上、また、AVSは0.5mg/g-dry以上で魚類養殖に伴う有機物負荷の状況が窺えた。一方、湾口部から北部域ではCODが5～7mg/g-dry、AVSは0.1mg/g-dry以下であった。マクロベントスはCODやAVSが高い南部域では非常に少なく、無生物の定点もみられたが、湾口部から北部域では個体数が $1.4 \sim 3.2 \times 10^3 \text{ cell/m}^2$ 、湿重量が 20 g/m^2 以上で分布していた(図5)。

2) 串本浅海漁場

水温は表層では26.8～27.4℃でほとんど差がなかったが、底層では水温差が大きく、漁場東側では20℃台、西側では24℃台で3～5℃高くなっていた。塩分は表層では33.00台、底層では34.00台で均一な分布を示した。溶存酸素量は表層では6mg/l台で、養殖場は周辺に比べるといくぶん低くなっていた。底層では5～7mg/lで養殖場の最深部を中心にいくぶん低くなっていた(図6)。

底泥のCODは養殖場では10mg/g-dry以上のところが多く、最深部では14mg/g-dryであったが、養殖場周辺では8mg/g-dry以下に低下して

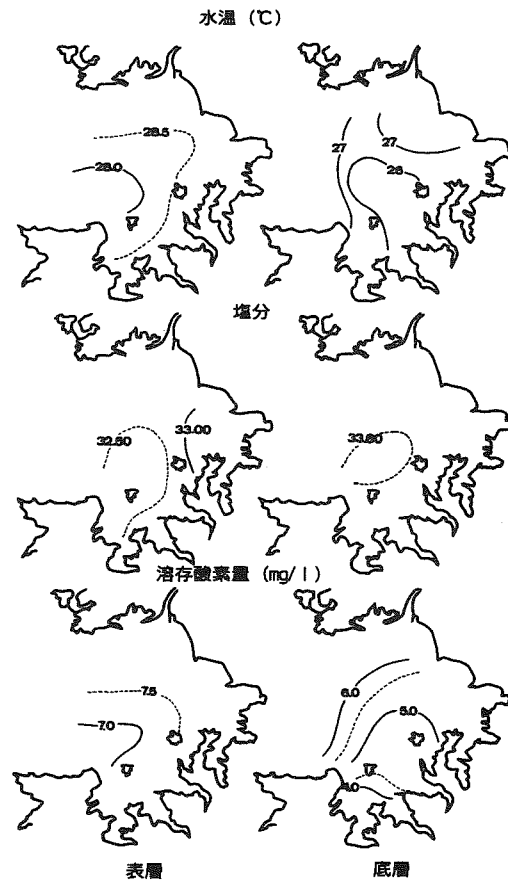


図4. 田辺湾における水温、塩分と溶存酸素量の分布 (2001年8月13日)

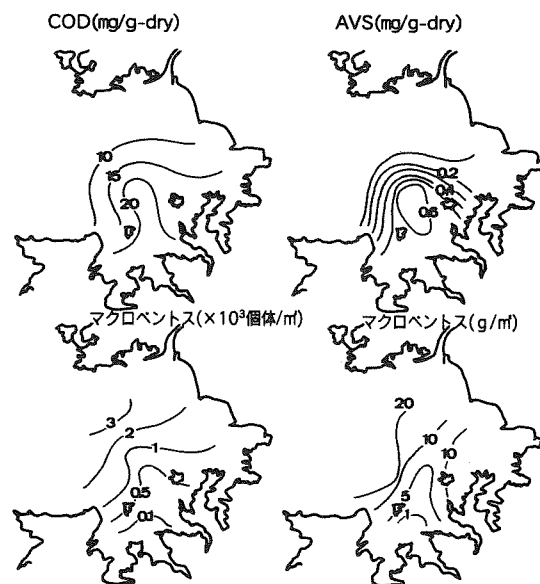


図5. 田辺湾における底泥中のCOD、AVSとマクロベントスの分布 (2001年8月3日)

いた。一方、AVSも養殖場で高く（最大：0.31 mg/g-dry）、周辺では0.1 mg/g-dry以下で、CODと良く似た分布を示した。マクロベントスはCODとAVSの分布を反映し、個体数では養殖場が 1.0×10^4 cell/m²以上（Max 1.78×10^4 cell/m²）であるのに対して周辺では $4 \sim 6 \times 10^3$ cell/m²、また、湿重量は養殖場では50 g/m²（Max 98.6 g/m²）以上であるのに対して周辺では10～30 g/m²であった（図7）。

3) 湯浅湾小引浦

養殖場(St.4～6)と周辺(St.1～3)に定点を設けて調査を行ったが、水温、塩分と溶存酸素量は養殖場と周辺でほとんど差がなかった。また、底泥のCODは4～7 mg/g-dry、AVSは0.009～0.09 mg/g-dryで、養殖場と周辺で差がなく、魚類養殖に伴う有機物負荷の影響は認められなかった。一方、マクロベントスは個体数、湿重量ともに養殖場が周辺よりもやや高密度に分布していた（表2）。

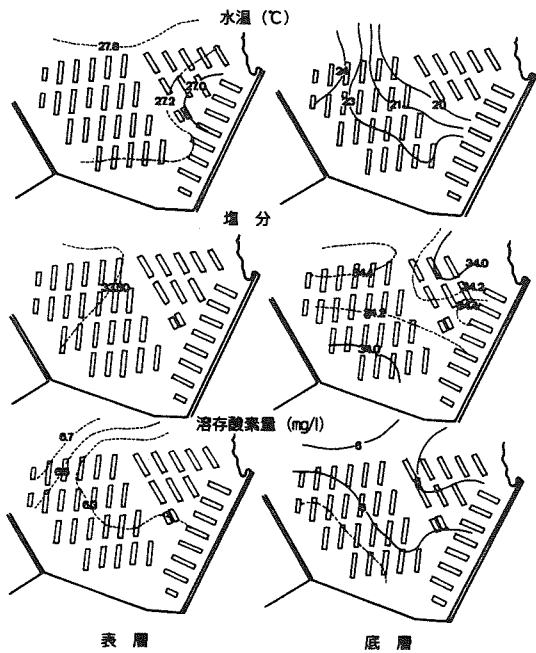


図6. 串本浅海漁場における水温、塩分と溶存酸素量の分布（2001年8月3日）

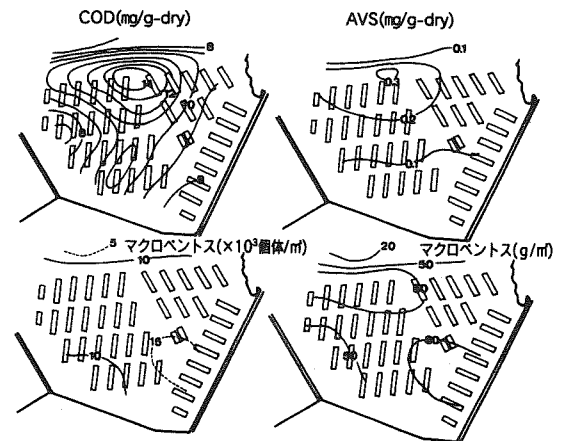


図7. 串本浅海漁場における底泥中のCOD、AVSとマクロベントスの分布（2001年8月3日）

表2 湯浅湾小引浦における環境調査結果（2001年8月8日）

観測項目		St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
水深(m)		20	26	26	20	21	14
透明度(m)		6.5	6.5	8	6	6	6.5
水温(°C)	表面	26.7	26.4	26.4	26.6	26.5	26.6
	海底上1m	25.3	25.1	24.9	24.9	25.4	26.3
塩分	表面	33.192	33.15	33.135	33.133	33.128	33.159
	海底上1m	33.335	33.435	33.469	33.483	33.499	33.289
溶存酸素(mg/l)	表面	7.5	7.27	7.37	7.01	7.39	7.54
	海底上1m	6.83	6.51	6.29	6.26	6.26	6.9
AVS(mg/g-dry)		0.038	0.022	0.019	0.09	0.04	0.009
COD(mg/g-dry)		6.93	5.79	4.09	6.74	4.08	4.88
マクロベントス(個/m²)	多毛類	2464	2553	1887	4240	2153	1621
	棘皮類	22	22	0	89	133	67
	節足類	44	89	67	67	133	0
	軟体類	22	22	89	67	222	155
	その他	22	0	0	0	133	1132
	合計	2574	2686	2043	4463	2774	2975
マクロベントス(g/m²)	多毛類	14.23	12.54	12.72	31.7	15.56	2.89
	棘皮類	0.199	0.75	0	4.53	4.55	1.53
	節足類	1.332	1.13	1.51	5.93	0.6	0
	軟体類	0.044	0.24	0.44	0.155	0.95	9.7
	その他	0	0	0	0	0.22	2.24
	合計	15.805	14.66	14.67	42.315	21.88	16.36

考 察

昨年度²⁾に引き続き、漁場環境が1年のうちで最も悪くなる夏季に漁場環境調査を行った。

田辺湾では調査が海水の停滞時に行われたため養殖場のある南部域では底層水の溶存酸素量が低下し、奥部では貧酸素水塊が形成されていた(図4)。また、溶存酸素量が低下した南部域では底泥中のCODやAVSが高く(図4、5)、ここでは魚類養殖に伴う有機物負荷が底質を悪化し、酸素消費を促進しているものと考えられる。田辺湾南部域では夏季に貧酸素水塊が短い期間で何回となく繰り返すことが知られている³⁾が、貧酸素水塊がマクロベントスに影響を与え、南部域の奥では無生物であったものと考えられる。ここでは魚類養殖の規模の縮小と飼料の改善等により底泥中のCODやAVSが低下していることから漁場環境が改善傾向にあると考えられている²⁾が、ベントス群集の復活まで、今一步の改善が必要であると考えられる。

串本浅海漁場ではその周辺に比べると底泥中のCODやAVSが高く、マクロベントスが高密度である(図7)ことから、魚類養殖に伴う有機物負荷の影響を捉えたものと考えられる。ところが、底層水の溶存酸素量は5~6mg/l台で昨年²⁾同様に溶存酸素量が低下してマクロベントスに悪影響を及ぼしているというような状況は認められなかった。ここは黒潮流域に位置し、海水交換が良好であることから浄化力が高く、底泥の悪化が水中へ伝わりにくいものと考えられる。

一方、湯浅湾小引浦では底泥のCODやAVSが低く、マクロベントスは 10^3 個体/m²の密度で分布していた(表2)。また、底層の溶存酸素量は高く、しかも、養殖場の内外でほとんど差が認められなかった。ここでは古くから魚類養殖が行われている²⁾が、負荷量よりも海域の浄化力が高いため魚類養殖の影響が認められなかったものと考えられる。

次に、漁場環境の底質項目として昨年度²⁾に引き続き、CODとAVSについて分析を行った。ここでは3水域の養殖場と周辺に区分して両者の関係を図8に示す。養殖場の周辺では田辺湾にある一部の定点を除くとCODが10mg/g-dry以下、AVSは0.1mg/g-dry以下の範囲にあるが、養殖場では有機物負荷の影響によりCODやAVSが高く、変動幅が認められるものの両者は正の相関を示した。今後分析の簡便性や操作性からAVSを指標として選ぶことが適切であると考えられる。

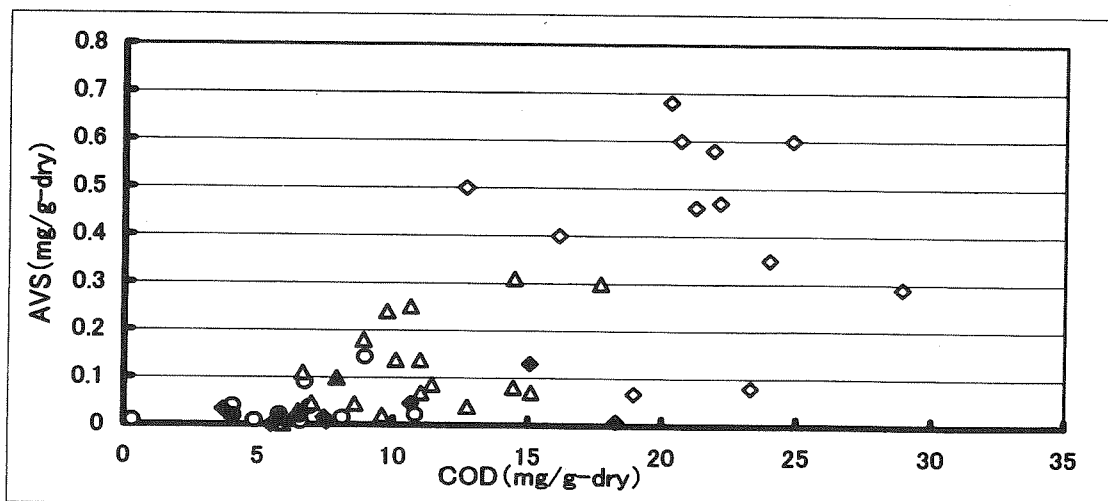


図8. CODとAVSの関係
2000年と2001年の値による

- ：小引浦養殖場，●：小引浦養殖場周辺
- △：串本浅海漁場，▲：串本浅海漁場周辺
- ◇：田辺湾養殖場，◆：田辺湾養殖場周辺

また、海底で残餌や糞などの未分解有機物の除去にかかわるマクロベントスと底泥の汚れの指標をAVSとして両者の関係を図9に示す。マクロベントスを個体数と湿重量でみると両者の関係は必ずしも一致しないが、AVSが0.2～0.3mg/g-dryまでのところでマクロベントスは個体数、湿重量ともにピークを示した。ここまでの範囲では有機物が負荷されてもマクロベントスによって底質は浄化されるため、養殖漁場の環境としては適正な許容範囲にあると考えられる。ところがAVSが0.4mg/g-dryを超えるとマクロベントスはほとんど無くなっていることから生物浄化が期待できないため、この数値を超える漁場では改善を要するものと考えられる。

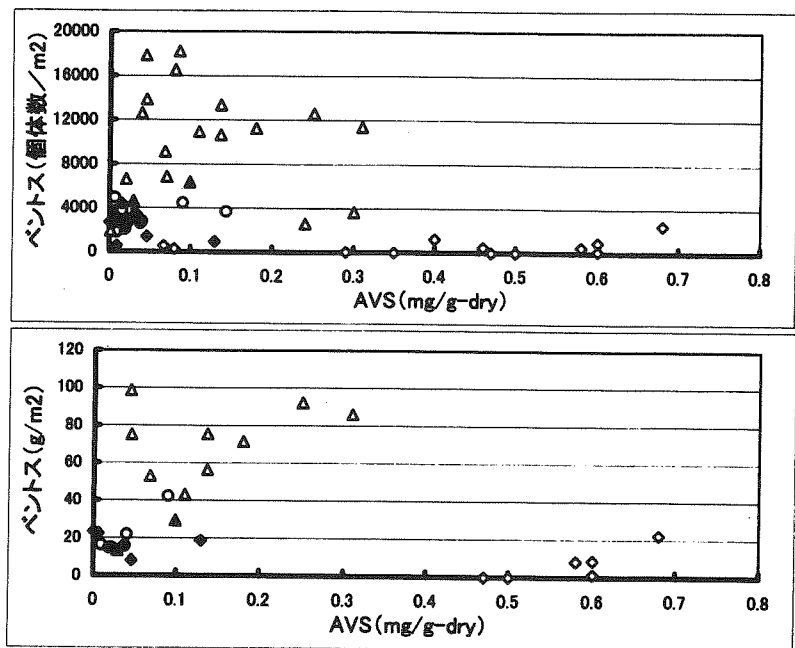


図9. AVSとマクロベントスの関係
マクロベントスの個体数は2000年と2001年の値による
○：小引浦養殖場，●：小引浦養殖場周辺
△：串本浅海漁場，▲：串本浅海漁場周辺
◇：田辺湾養殖場，◆：田辺湾養殖場周辺

2 飼育状況調査

養殖漁業では給餌に伴う残餌や糞等の有機物負荷により漁場環境が悪化し、このことが、赤潮、貧酸素水塊や魚病の発生を引き起こし、生産性の低下を招いている。そこで、残餌や糞等の有機物負荷が水域の浄化力を上回らない範囲に抑制することが重要な課題であるが、そのためには飼育密度を下げるとともに給餌量を減少させることが必要である。

ここでは、県内で行われているマダイ養殖の実態を調査し、この中から飼育成績が良く、かつ、漁場環境に配慮した飼育技術（漁場の行使方法）の抽出を試みる。

方 法

田辺湾の地元漁協、串本浅海漁場の3業者、また、芳養湾と湯浅湾小引浦では各々1業者に飼育日誌の記帳を依頼し、水温、溶存酸素量、投餌量と斃死尾数（生簀の底を持ち上げていないので浮上した死魚に限る。）について調査した。また、串本浅海漁場、芳養湾と小引浦では定期的にマダイを購入し、魚体測定を行った。これ以外の養殖状況については聞き取り調査によった。

飼育日誌の対象魚は全てマダイで、飼育成績については成長、生残率、飼料効率と増肉係数によって比較した。

飼料効率と増肉係数は以下の式によって求めた。

$$\text{増肉係数} = F / G$$

ただし、Fは期間中の給餌量、Gは同じ期間中の補正増重量である。補正増重量は次式によって求めた。

$$\text{補正増重量} = W_2 N_2 - W_1 N_1 + W_3 N_3$$

W_1 : 養殖開始時の平均魚体重

N_1 : 開始時の尾数

W_2 : 終了時の平均魚体重

N_2 : 終了時の尾数

W_3 : 斃死魚の平均魚体重

N_3 : 斃死魚の尾数

飼料効率は、増肉係数の逆数で百分率 (%) で示した。

なお、養殖業者によって飼料に対する考え方が異なり、飼育日誌の記帳を依頼した業者の間でも、MPとEPが使われていた。そこで、これらを相互に比較するため給餌量はすべて乾燥重量に換算して示した。

結果および考察

飼育日誌の水温を用いて調査水域における表面水温の月平均値の推移を図10に示す。夏季の水温は田辺湾や芳養湾では28、29℃、また、小引浦では27℃台まで上昇していたが、串本浅海漁場では25～27℃で他の水域に比べるとあまり上昇することがなかった。一方、冬季は、田辺湾、芳養湾や小引浦では15℃以下（最低水温13℃台）に低下していたが、串本浅海漁場では15、16℃台で、上記の3水域に比べると2℃程高めに推移していた。

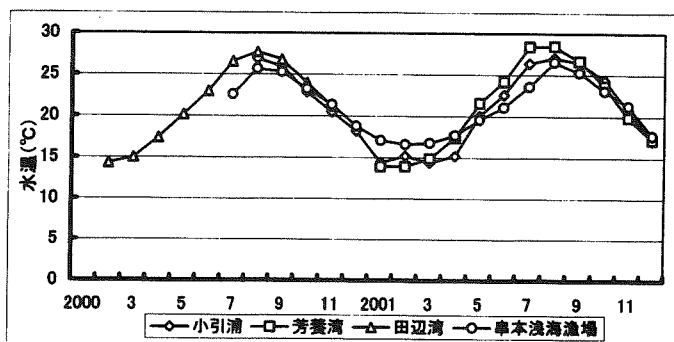


図10. 調査水域における表面水温の推移

このような水温条件のもとで行われているマダイ養殖について飼育日誌をもとに飼育成績を検討した。田辺湾の地元漁協では1980年頃からマダイを自家生産しているが、1991年にイリドウイルス病が発生してからは秋に種苗生産の大半を行うようになった（秋仔）。この場合、稚魚の沖出しは10～12月頃で、当初1辺が5～6mの生簀に入れているが、10～30gになると計数して（奇形魚のチェックを含む）直径30m、深さ10～15mの円形生簀に約10万尾程度収容し、本養殖を開始している。その後、毎月1回生簀ごとに10～20尾すくい取り、魚体測定を行っている。また、魚体測定結果と給餌量から飼料効率や増肉係数が求められている。

ここではその値を用いて図11に平成12年産マダイの成長状況を示す。平成12年産マダイは1999年12月に4生簀で養殖が開始された（開始時平均体重7～10g）。当才魚の間は成長が緩やかで、2000年12月に210～260gになった。その後、1、2月は低水温のため成長は鈍かったが、3月頃から急速に成長し始め、10、11月には820

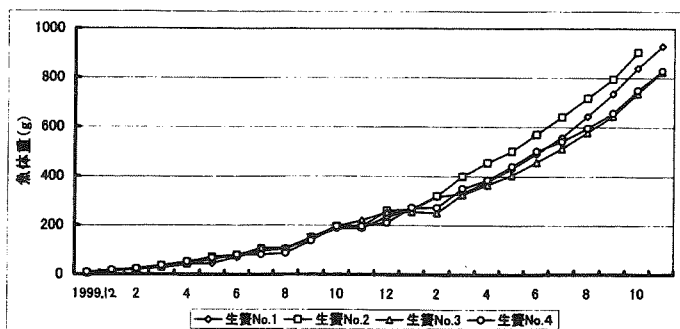


図11. 田辺湾の養殖業者による平成12年度マダイの成長状況

～930gになり、大きいものから出荷している。また、この間の生残率は53～74%で、死亡したものの大半は2000年9～10月に発生したイリドウィルス病によるものであった。

この間の飼料効率と増肉係数を図12に示す。飼料効率と増肉係数は成長が鈍かった2001年3月頃までは大きく増減し、飼料効率が100%以上、増肉係数が1.0以下という数値が数多く出てきた。これは毎月行っている魚体測定が全体を反映していないことと、斃死尾数を十分に掴みきれなかったことによりマダイの総重量が正確に把握されてなかったことが原因であると考えられる。

そこで、この間（2001年3月までの期間）の飼料効率を計算すると、49～72%になったが、2001年4月からの魚体重が400g以上の時期には40%程度になった。また、増肉係数も飼料効率と同様に増減が著しかったため、2001年3月までの通期で計算すると1.38～2.03になったが、その後は2～3でほぼ一定していた。

平成11年産マダイは約2年間で500～800gになった²⁾ことに比べると平成12年産マダイは成長が著しく良くなった。これは2001年がイリドウィルス病の発生が小規模で順調に給餌できたこと、また、ここでは大規模な養殖を省力化しながら行っているが、平成11年産マダイはMPを中心に投与していたため、調餌等に時間がかかり、十分に餌が行き渡らなかったのに対し、平成12年産マダイはEPが使われ、餌が十分に与えられたことにより成長が良くなったものと考えられる。ただ、飼料効率が40%、増肉係数が2～3で必ずしも良好な飼育結果とは考えられない。今後、給餌等についてよりきめの細かい飼育管理に努めることが必要である。

また、田辺湾以外のマダイ養殖では、従来、稚魚の導入は初夏に行われていたが、イリドウィルス病が発生してからは発病期である夏季に出来るだけ大きな魚体で経過させるために秋仔を1、2月頃に入れる業者が増えている。

ここでは小引浦、芳養湾と申本浅海漁場で行われているマダイ養殖の状況を表3に示す。芳養湾のNo.2業者は、主にマダイやハマチの成魚を購入し、一時蓄養した後、これらの販売を主な業務としている。そこで、養殖は小規模で種苗も8,800尾と少なく、これを当初から10×10×6mの生簀1面に入れてEPを与えている。その他の業者は、種苗を受け入れてから3～6ヶ月間は魚の摂餌効果を高めるため小さな生簀に入れて飼育し、稚魚が100～150gになってから大型の生簀に移し、出荷サイズまで飼育している。本養殖に入る時の放養密度は0.77～2.52kg/m³であり、No.5が最も高密度であった。飼料は一般に当才魚の間はEPを与え、越年してからEPとMPを併用しているが、小引浦（No.1）や芳養湾（No.2）の業者は出荷サイズまで全てEPを与えていた。また、No.5、5'はMPを主に、EPを補完飼料として使っていた。

マダイの成長を図13に示した。2000年の夏季に種苗を入れた3業者（No.1, 3, 4）のマダイは概ね良く似た成長を示し、2000年12月頃までは順調に成長していたが、その後、翌年6月頃までは

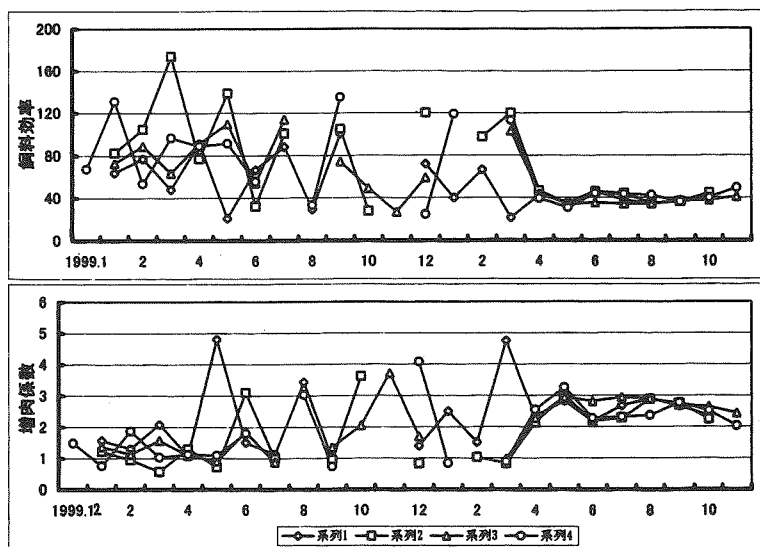


図12. 田辺湾の養殖業者による平成12年度マダイの月別の飼料効率と増肉係数の推移

表3 マダイ養殖の状況

水域 業者	種苗 導入時期	小引浦	芳養湾	串本浅海漁場			
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
	尾数	30,000尾	8,800尾	20,000尾	33,000尾	25,000尾	20,000尾
飼育生簀	当初	7×7×7m 2面	10×10×6m 1面	6×6×4m 2面	6×6×4m 2面	6×6×4m 2面	6×6×4m 1面
	本養殖	15×15×9m (1913m ³) 2面	10×10×6m (550m ³) 1面	12×12×7m (936m ³) 2面	13.5×13.5×9m (1549m ³) 2面	13.5×13.5×7.5m (1276m ³) 1面	13.5×13.5×7.5m (1276m ³) 1面
本格養殖	時期 密度	3ヶ月後 1.31kg/m ³	直後 0.17kg/m ³	5ヶ月後 1.47kg/m ³	5ヶ月後 0.77kg/m ³	6ヶ月後 2.52kg/m ³	6ヶ月後 1.69kg/m ³
飼料		EP	EP	EP、MP (EP主体)	EP、MP	MP、EP (MP主体)	MP、EP (MP主体)

低水温等のため成長が鈍く、1年経過後の2001年7月には約350g、また、その後は急速に成長し、12月には890～970gになった。2001年6月に稚魚を入れたNo.2では半年間の飼育で約200gに成長し、図13の下段にみられるように2000年夏季に種苗を入れた3業者のマダイと同じような成長を示した。一方、No.5、5'では秋仔を2001年2月に入れた後、4月頃まで成長が鈍かったが、その後は急速に成長し、11ヶ月間経過した時点で500gを超え、他に比べると成長は著しく良かった。

飼育成績を表4～8に示す。増肉係数は成長が良かったNo.3とNo.5が2、3台で、他に比べるといくぶん悪かった。No.5'は成長が良く、しかも増肉係数が1.1～2.0で良好であった。ここでNo.1は成長が他に

比べるといくぶん劣っていたが、飼料効率は60～90%を示すことが多く、増肉係数も1.79までで非常に良好であった。この業者は冬季、荒天と低水温のため給餌は一週間に1、2回、また、1才魚でも夏季には1、2日おきに飽食給餌している程度で、他に比べると給餌回数は著しく少なかった。後述するようにマダイは給餌後24時間経っても腸内容物が残っていることが明らかになったこと(図26)からすると連日給餌よりも休餌日を設けることが効率の良い養殖を行ううえで重要なことと考えられる。

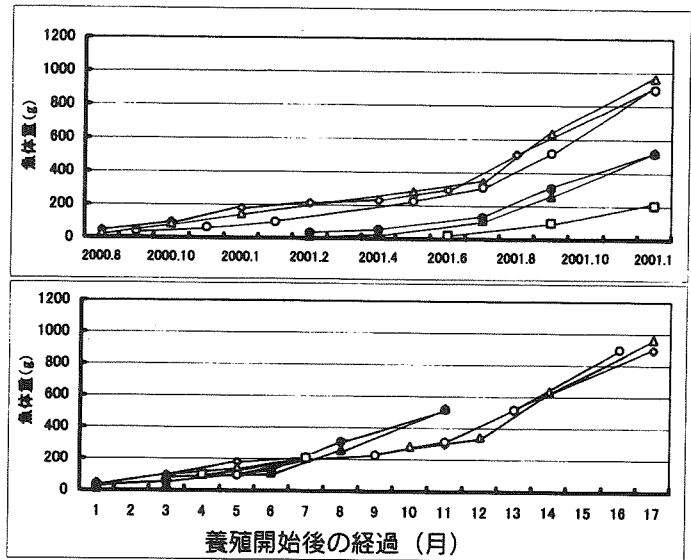


図13. 県内の養殖業者によるマダイの成長
No.1～5'は業者Noである。
◇: No.1, □: No.2, △: No.3, ○: No.4
●: No.5, ▲: No.5'

表4 No1の養殖状況

	尾数	平均体重 (g)	総重量 (kg)		尾数	平均体重 (g)	総重量 (kg)
開始時	14,000	45.9	643	4期終了時	13,937	231.0	3220
1期終了時	13,960	95.8	1337	5期終了時	13,934	295.8	4122
2期終了時	13,937	179.7	2505	6期終了時	13,932	509.4	7097
3期終了時	13,937	212.0	2954	7期終了時	13,921	896.0	12473

	期間	斃死尾数	総給餌量 (kg)	飼料効率	増肉係数	給餌日数/期間中の日数
1期	8/4-10/2	40	837	83.5	1.20	44/60
2期	10/3-12/17	23	1185	98.8	1.01	37/76
3期	12/18-2/4	0	305	147.4	0.68	14/49
4期	2/5-4/8	0	474	56.0	1.79	15/63
5期	4/9-6/3	3	1315	68.7	1.47	20/56
6期	6/4-8/9	2	3192	93.2	1.07	26/67
7期	8/10-12/20	11	8786	61.3	1.63	50/133

表5 No2の養殖状況

	尾数	平均体重 (g)	総重量 (kg)
開始時	8,800	10.6	93
1期終了時	8,798	22.7	199
2期終了時	8,763	99.5	872
3期終了時	8,756	206.3	1806

	期間	斃死尾数	総給餌量 (kg)	飼料効率	増肉係数	給餌日数/期間中の日数
1期	5/22-6/10	2	74	144.76	0.69	20/20
2期	6/11-9/2	35	661	101.89	0.98	62/84
3期	9/3-12/11	7	994	94.18	1.06	31/100

表6 No3の養殖状況

	尾数	平均体重 (g)	総重量 (kg)		尾数	平均体重 (g)	総重量 (kg)
開始時	9,900	31.4	311	4期終了時	9,306	343.1	3193
1期終了時	9,813	85.8	842	5期終了時	9,304	635.1	5909
2期終了時	9,461	145.3	1375	6期終了時	9,248	965.0	8924
3期終了時	9,367	282.8	2649				

	期間	斃死尾数	総給餌量 (kg)	飼料効率	増肉係数	給餌日数/期間中の日数
1期	8/23-10/5	87	701	76.8	1.30	37/43
2期	10/6-12/3	352	808	72.3	1.38	46/58
3期	12/4-5/16	94	2917	44.6	2.24	111/164
4期	5/17-7/11	61	2098	26.9	3.71	41/56
5期	7/12-9/12	2	3386	80.1	1.25	38/63
6期	9/13-12/20	56	7203	42.5	2.35	67/101

表7 No4の養殖状況

	尾数	平均体重 (g)	総重量 (kg)		尾数	平均体重 (g)	総重量 (kg)
開始時	14,000	38.3	536	4期終了時	15,764	311.1	4904
1期終了時	10,939	62.7	686	5期終了時	15,755	515.6	8123
2期終了時	15,828	97.1	1537	6期終了時	15,720	897.0	14101
3期終了時	15,795	225.2	3557				

	期間	斃死尾数	総給餌量 (kg)	飼料効率	増肉係数	給餌日数/期間中の日数
1期	9/7-11/6	3061	634	53.9	1.85	42/60
2期	11/6-1/18	111	1143	75.4	1.33	45/73
3期	1/18-5/17	33	2853	71.0	1.41	60/120
4期	5/17-7/12	31	2623	51.7	1.93	24/56
5期	7/12-9/13	9	4828	66.8	1.50	30/63
6期	9/13-12/21	35	9294	64.7	1.55	51/100

表8 No5とNo5'の養殖状況

県内産種苗 (No.5)

	尾数	平均体重 (g)	総重量 (kg)
開始時	25,000	34.1	852
1期終了時	24,918	54.5	1359
2期終了時	24,886	129.3	3217
3期終了時	24,864	307.0	7633
4期終了時	24,832	517.3	12845

県内産種苗 (No.5')

	尾数	平均体重 (g)	総重量 (kg)
開始時	20,000	14.5	290
1期終了時	19,100	34.8	664
2期終了時	19,079	113.5	2165
3期終了時	19,064	260.2	4960
4期終了時	19,004	525.7	9990

県内産種苗 (No.5)

	期間	斃死尾数	総給餌量 (kg)	飼料効率	増肉係数	給餌日数/期間中の日数
1期	2/8-4/16	82	1511	33.9	2.95	35/68
2期	4/17-7/2	32	2894	64.3	1.55	43/77
3期	7/3-9/12	22	6311	70.1	1.43	46/72
4期	9/13-12/26	32	12921	40.5	2.47	67/105

県内産種苗 (No.5')

	期間	斃死尾数	総給餌量 (kg)	飼料効率	増肉係数	給餌日数/期間中の日数
1期	2/8-4/16	900	436	88.8	1.13	50/68
2期	4/17-7/2	21	2049	73.3	1.36	43/77
3期	7/3-9/12	15	5070	55.2	1.81	42/72
4期	9/13-12/26	60	9908	51.1	1.96	70/105

3 給餌に伴う残餌・糞の負荷と水、底質の関係

養殖漁場の環境は給餌に伴う残餌や糞等の有機物負荷と水域の備えた浄化力のバランスにより形づくられている。ここでは給餌状況、残餌・糞等の堆積量と水、底質の漁場環境調査を実施し、給餌に伴う有機物負荷が漁場環境に与える影響について検討した。

方 法

調査は田辺湾沖合養殖場(図1の3定点: St.1, 2, 3)、串本浅海漁場(図2の3定点: St.1, 3, 6)と湯浅湾小引浦(図3のSt.5)で2000年8月から毎月1回の割合で行った。串本浅海漁場と小引浦では1年後の2001年8月に調査を終了したが、田辺湾ではその後も継続中である。

調査項目は水温、塩分、溶存酸素量、透明度、COD、AVS、トラップ堆積量と投餌量である。小引浦では1つの生簀をはさんで2定点でトラップを設置したが、水質と底質については2定点の中央の1点で行った。また、田辺湾ではこれらの項目とともにマクロベントスについても調査した。トラップは21の広口ポリビン（口径75mm）を生簀底面から5m下（上層）と海底上1m（下層）に設置し、ブイでポリビンの口がたえず上を向くように調整した²⁾。堆積物はガラス・フィルター（GFC）でろ過した後、110℃で1時間乾燥し、重量を測定した後、1日・1m²当りの堆積量に換算した。また、調査期間中のトラップ設置点への投餌量については、飼育状況調査の日誌から抽出した。これ以外の観測項目の分析は前項の漁場環境調査に準じて行った。

結 果

1) 田辺湾

透明度は夏～秋季に4、5mまで低下していたが、外海水の侵入時には10m以上になることがあった。水温は5月頃から上昇し始め、7～9月頃に表層で28℃台に達してピークを示したが、10月頃からは下降し始め、1月頃から15℃以下に低下していた。塩分は降雨後に表層で低下していた

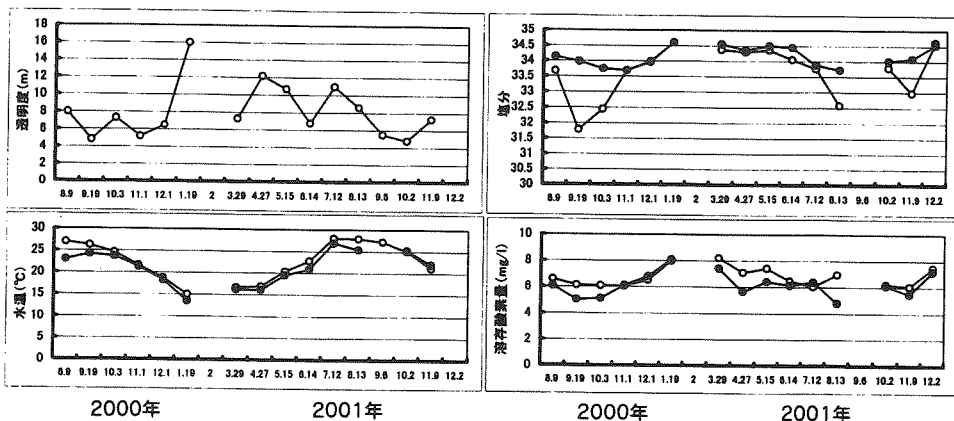


図14. 田辺湾における観測項目の推移

水温、塩分と溶存酸素量のマーク
○：表層水、●：底層水

が、通常は表層が33.00台、また、底層は34.00台で推移することが多かった。溶存酸素量は夏季に底層で5mg/l以下になることがあったが、冬～春季には7～8mg/l台に回復していた（図14）。

トラップを垂下した生簀に対する投餌量はブリでは0～800kg/生簀・日、マダイでは0～500kg/生簀・日で調査時によって大きく変動していたが、ここでは生簀の数が多く、給餌する生簀が日によって変わるためこのような結果になったものと考えられる。また、堆積量は上層トラップでは100g/m²・日以下で大きな変動を示すことがなかったが、下層では、2000年は開始時から大きく減少していたが、2001年は200～800g/m²・日で大きく変動することがなかった。底泥のCODは10～30mg/g-dryで、2000年の夏～冬季には上昇していたが、生簀を撤去した1月に急速に低下し、2001年の漁期は15～20mg/g-dryで横ばいに推移していた。AVSもCODと同様に2000年の夏～冬季に上昇していたが、生簀を撤去した1月には急速に低下していた。3月以降は0.5～0.8mg/g-dryでほぼ横ばいに推移していたが、11月から12月にかけていくぶん低下していた。マクロベントスは0.1～1.5×10³個体/m²の密度で推移し、両年とも8月から12月頃まで減少し、生簀を取り除いている冬季から初夏にかけて増加していた（図15）。

2) 串本浅海漁場

透明度は春～夏季に6m以下に低下することがあったが、秋～冬季には10m以上で推移していた。水温は8～10月頃には最も高くなったが、25、26℃台で推移することが多く、田辺湾のように高水温になることがなかった。一方、冬季1、2月頃には最も

低下したが15℃以下になることがなかった。塩分は降雨後いくぶん低下したが、34.00台で推移することが多かった。溶存酸素量は夏～秋季に低下したが、5mg/l以下になることがなかった(図16)。

投餌量はマダイ稚魚を入れてからの状況を追跡したため、2001年2月までは30kg/生簀・日以下でほぼ横ばいに推移していたが、2001年4月以降は増加し続け、8月には90kg/生簀・日になった。上層トラップへの堆積量は100g/m²・日以下、また、下層では150g/m²・日以下で推移し、投餌量が多くなった2001年4月から堆積量は増加することがなく、両者は連動することがなかった。底泥のCODは7～15mg/g-dryで2000年8月から12月にかけていくぶん高くなっていたが、それ以降は低下し、2001年4月からは10mg/g-dry以下でほぼ横ばいに推移していた。また、AVSは2000年8月から2001年1月にかけて上昇していたが、2月に急落し、その後、0.1mg/g-dry以下の範囲で横ばいに推移していた(図17)。

3) 湯浅湾小引浦

透明度は6～14mで推移し、春～秋季にいくぶん低くなったが、この時期にも10m以上になること

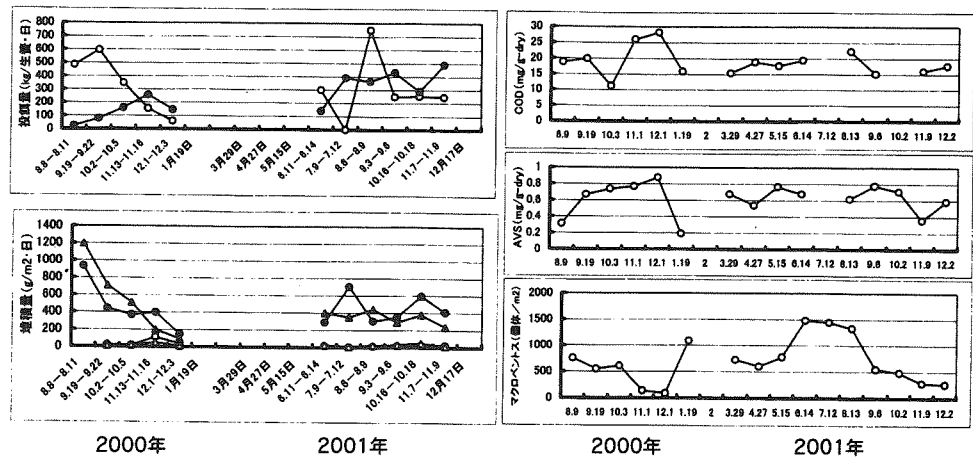


図15. 田辺湾沖合養殖場における投餌量、堆積量と底質の推移

投餌量、○：プリ、●：マダイ
堆積量、○：プリ上層、●：プリ下層、△：マダイ上層、▲：マダイ下層

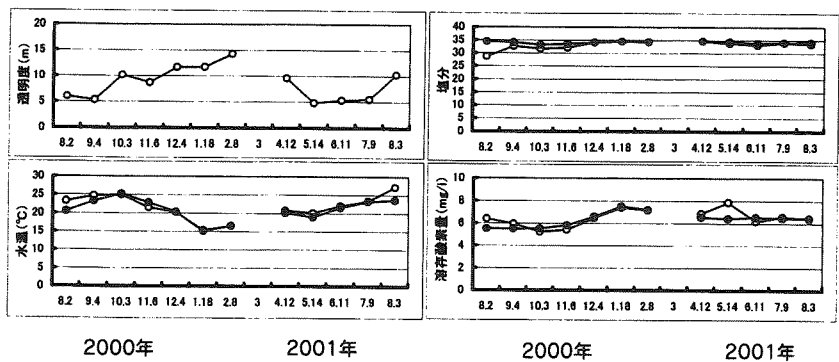


図16. 串本浅海漁場における観測項目の推移

水温、塩分、溶存酸素量のマーク
○：表層水、●：底層水

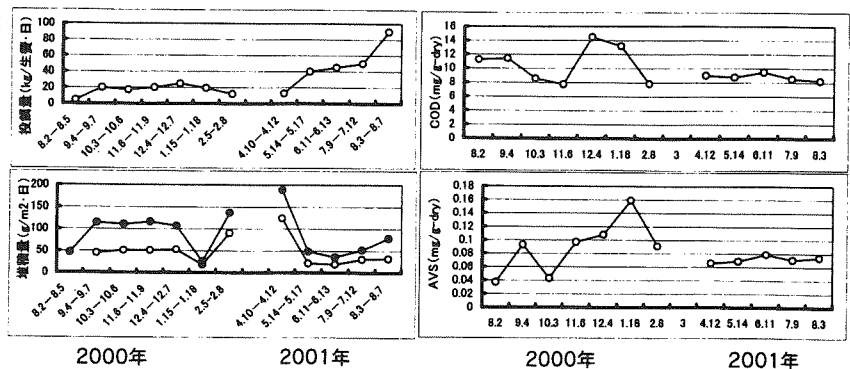


図17. 串本浅海漁場における投餌量、堆積量と底質の関係

堆積量、○：上層、●：下層

が多かった。水温は8、9月にピークを示したが、27℃台で近隣の内湾のように高水温になることがなかった。1～4月上旬までは15℃以下で推移し、この間、13℃台に低下することがあった。また、周年を通して表、底層間の水温差が少ないことから海水交換が良好であると考えられる。塩分は降雨後を除くと表、底層とも33.00以上で推移していた。溶存酸素量は夏～秋季に低くなったが5mg/l以下に低下することがなかった(図18)。

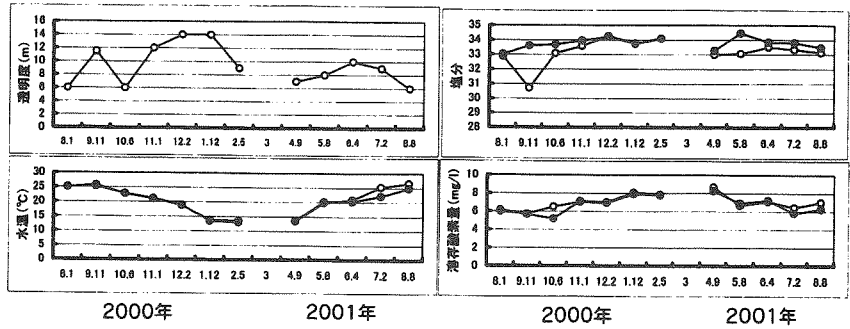


図18. 湯浅湾南部小引浦における環境項目の推移

水温、塩分、溶存酸素量のマーク
○：表層水、●：底層水

溶存酸素量は夏～秋季に低くなったが5mg/l以下に低下することがなかった(図18)。

投餌量は調査を開始した2000年8月から2001年2月までは10～20kg/日であったが、2001年5月頃からは魚体のサイズアップと水温上昇により50kg/日まで増加した。堆積量は上層が3.6～33.7g/m²・日、下層が9.1～75.1g/m²・日で投餌量が増加した2001年5月以降も堆積量が増加することがなく、両者は相関することがなかった。底泥のCODは上、下変動を繰り返しながらも5～9mg/g-dryで、調査期間中にはいくぶん低下していた。また、AVSは夏季にいくぶん高くなったが、0.15mg/g-dry以下の範囲で推移し、CODとAVSからは漁場の行使に伴って底質が悪化する状況は認められなかった(図19)。

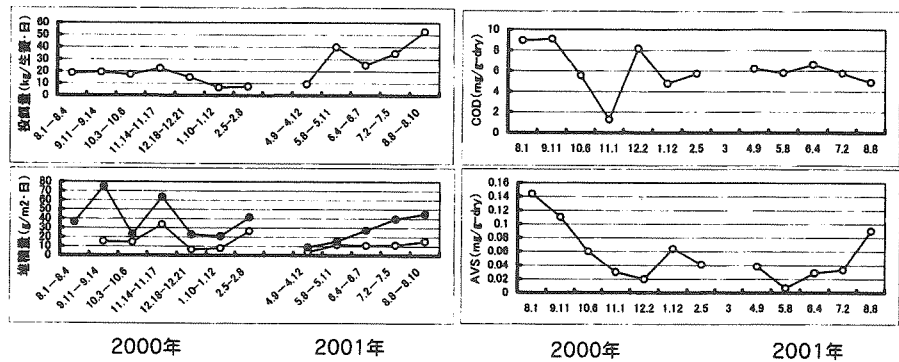


図19. 湯浅湾小引浦における投餌量、堆積量と底質の推移

堆積量、○：上層、●：下層

考 察

給餌養殖に伴う有機物負荷が漁場環境に与える影響を定量的に把握するため、投餌量と生簀の直下にトラップを垂下して堆積量を捉えながら底質の状況を追跡調査した。

調査対象とした生簀の投餌量は魚の放養量によって異なり、田辺湾では直径30m、深さ10～15mの生簀が使われているため投餌量が最も多く、串本浅海漁場と小引浦では概ね良く似ていた。また、堆積物は21広口ポリピンを生簀底面から5m下(上層トラップ)と海底上1m(下層トラップ)に設置して収集したが、田辺湾では、上層トラップに対して下層では約20倍の堆積量があった。一方、串本浅海漁場と小引浦では上層と下層トラップの堆積量にあまり差がなかった。田辺湾沖合養殖場は他の2水域に比べると底泥の含泥率が高く、下層のトラップでは再懸濁した底泥を多く捉えたものと考えられる。また、図15、17、19では投餌量と堆積量の間には良好な関係は認められなかった。ここでは生簀の表面1m²あたりに与えられる投餌量に換算して堆積量との関係を図20に示した。投餌量と上層トラップの堆積量との関係では串本浅海漁場の3例を除くと投餌量の増加に伴って堆積量が増

加する傾向が認められ、投餌量の約1/10程度が堆積することが明らかになった。また、下層トラップでも田辺湾の4例を除くと投餌量の増加に伴っ

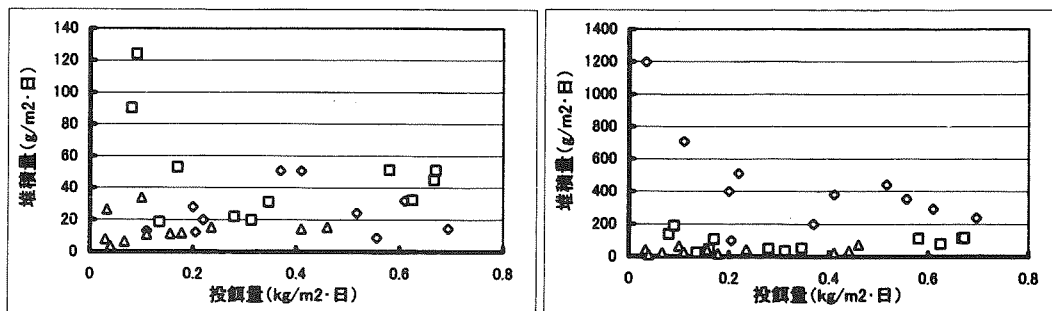


図20. 3水域における投餌量と堆積量の関係

左：上層、右：下層
◇：田辺湾、□：串本浅海漁場、△：小引浦

て堆積量が増加する傾向が認められたが、上層での関係に比べるといくぶん不明瞭であった。特に、田辺湾の値は投餌量に比べて堆積量が多いのは前述したように再懸濁した底泥を捉えたものと考えられる。また、ここではトラップを垂下した直上の生簀に対する投餌量との関係を検討したが、田辺湾や串本浅海漁場ではトラップを垂下した生簀の周辺に多くの生簀が並べられているため、他の生簀からの沈降物がノイズとなり両者がきれいな対応を示さなかったものと考えられる。ただ、3水域とも生簀底面から5m下では1日1m²当たり数十gの沈降物が魚類養殖によって負荷されていることが明らかになった。

次に、3水域で底質を追跡調査し、魚類養殖としての漁場行使が底泥に与える影響を検討した。田辺湾の沖合養殖場は毎年5月から11月末まで漁場として使われているが、ここでは図15に示したように2000年8月から12月にかけてCODやAVSが上昇し、底泥の悪化していることが窺えたが、2001年1月には両項目とも急速に低下していた。ところが、2001年3月以降は両項目ともほぼ横ばいに推移していた。ここでは両年とも直径30mの円形生簀が50台並べられブリとマダイの養殖が行われていた。2000年はMPが多く使われていたが、2001年には大部分がEPに切り替わり、全体の投餌量は約6割程度に減少したと言われている。今後、月別の投餌量を調べる必要があるが、EPの使用による投餌量の減少が漁場の行使期間においても負荷量と浄化力のバランスを取っていたものと考えられる。また、串本浅海漁場では夏季から秋季にかけて底泥が悪化し、冬季から夏季にかけていくぶん回復しながら、横ばいに推移していた(図17)。ここでは初夏に低水温現象が起り餌食いが悪くなるため、一般に水温上昇期には投餌量が少なく、水温下降期に多くなるのでこのような変動を示すものと考えられる。一方、小引浦では養殖規模が小さく、底質の状況(図19)からは漁場行使の影響は認められなかった。

4 底泥の酸素消費速度調査

養殖漁場の環境評価については種々の項目で基準値が設定されている⁴⁾が、ここではその1つとして提案されている大森・武岡理論^{5,6)}の現場における検証を行った。

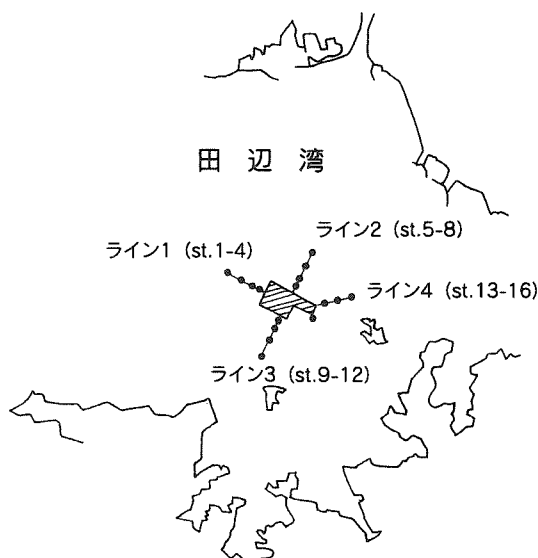


図21. 田辺湾沖合養殖場における調査定点

方 法

調査は2001年7月27日に田辺湾沖合養殖場で行った(図21)。定点は生簀直下(St.9)を基点にして、ライン3に沿って50、100、200m離してSt.10、St.11、St.12を設定した。なお、調査方法等は全て横山氏のマニュアル⁷⁾に準じて行った。

調査開始時、各定点にトラップ(ここでは海底上2m層に設置)を垂下し、終了時までの堆積量を調査した。底泥の採取はエクマンバージ型採泥器にセットした2本のアクリルパイプ(内径43mm)で行い、コアサンプルを2本採取した。これを持ち帰ってから1本のコアサンプルにはフェノールを3%の割合で添加した。その後、2本のコアサンプルにBODセンサー(ポータブルデジタル溶存酸素計 Model ND-10)をセットし、図22に示したようにして、約2時間程度コアサンプル内の溶存酸素量の減少する割合を記録し、酸素消費速度を求めた。

また、水質分析計(YSI社 Model 610-DM)を用いて水温、塩分、溶存酸素量の測定、採泥試料については前項に準じてAVSの分析を行った。

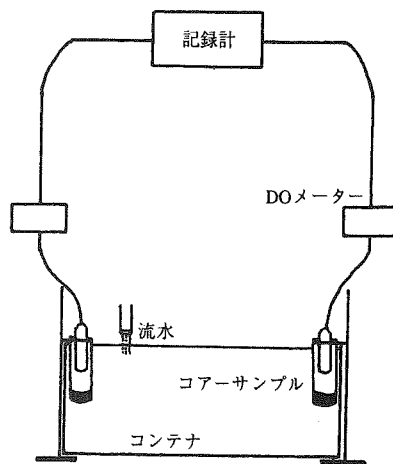


図22. 酸素消費速度測定装置

結果および考察

調査時のSt.11における水温、塩分と溶存酸素量の鉛直分布を図23に示す。表層では高温、底層では低温、高塩分水が分布し、密度成層が強く形成されていた。このような中、溶存酸素量は表、底層水とも7mg/l以上を示し、この時期としては溶存酸素量が高かったが、従来から知られている⁸⁾ように、外海から底層水の進入が強く、海水交換が活発であったものと推察される。

調査結果を表9に示す。トラップによる堆積量は生簀から50m離れたSt.10が最も高かったが、200m離れたSt.12においても19.4g/m²・日で定点間の差があまりなかった。この時には海水交換が活発であった(図23)ため残餌や糞等の沈降物の拡散が強く、堆積量に差がなかったものと考えられる。AVSは生簀直下のSt.9が0.31mg/g-dryで最も高く、St.10~12では0.1~0.15mg/g-dryで急激に低下していた。ところが、マクロベントスは4定点とも10³個体/m²以下で非常に低密度であった。

化学的酸素消費速度は0.305~1.029 O₂g/m²・日であったが、生物的酸素消費速度は-0.029~

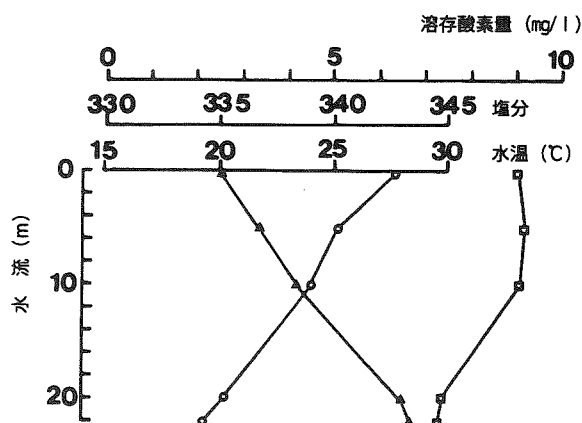


図23. St.11における水温、塩分と溶存酸素量の垂直分布
○: 水温, △: 塩分, □: 溶存酸素量

表9 田辺湾沖合養殖場での酸素消費速度測定調査結果(2001年7月27日)

	St.9	St.10	St.11	St.12	
水深(m)	24	24	24	24	
生け簀からの距離(m)	0	50	100	200	
海底上1m	水温	20	20.6	20.5	20
	溶存酸素量	7.24	6.52	6.76	6.3
トラップ堆積物 (g/m ² ・日)	24.7	30	21.2	19.4	
AVS (mg/g-dry)	0.31	0.15	0.13	0.1	
マクロベントス (個/m ²)	多毛類	333	644	333	466
	棘皮類	0	0	0	0
	節足類	22	0	0	0
	軟体類	244	178	22	0
	その他	0	0	0	0
酸素消費速度 (mgO ₂ /m ² ・d)	合計	599	822	355	466
	生物的	0.436	-0.029	0	0
	化学的	0.874	0.305	1.029	1.029

0.436 O₂/m²・日で負の値が出てきた。ここではフェノール添加時に酸素がコアサンプル内に溶け込み、開始時の溶存酸素量が高くなったことにより、その後の変化が大きくなり生物的酸素消費速度がこのような値になったものと考えられる。今後、フェノール添加時の酸素の溶け込みをなくすことが重要であり、開始時の溶存酸素量を揃えて実験を行うことによりこの手法を評価することが必要である。

5 魚類養殖に伴う汚染負荷物質の収支

養殖漁場の環境は投餌に伴う残餌や糞等の有機物負荷により形作られるため、残餌や糞等の有機物負荷量を把握することは極めて重要である。しかし、野外調査では海面へ投入された飼料が残餌や糞として分離していく過程の時間変化やその量的関係を把握することは困難である。そこで、条件設定の比較的容易な水槽実験により残餌や糞の量的関係を検討した。また、水槽実験による残餌と糞を区分する補完資料とするために給餌後の胃と腸内容物量の時間変化を追跡調査した。

方 法

1) 水槽実験

供試魚は本場の試験筏で飼育中のマダイ当才魚で、これを陸上の1トン円形FRP水槽に移して1週間程度予備飼育し、摂餌状態が安定した時点で実験を開始し、給餌から最大48時間後まで水槽内の未分解有機物を採取した。

実験は2回行ったが、供試魚の大きさ・換水率等の飼育と実験条件を表10に示す。給餌は摂餌状況を観察しながら喰い残しが出ないように注意して飽食量を与えた。懸濁物は設定時間毎に排水バルブを開け、100lの排水をナイロンネット(83×64メッシュ)を用いてろ過する方法で採取した。また、この時ナイロンネットを通過した海水については、1lを採取し、ガラスフィルター(GFC)でろ過して回収した。排水サイホンから流出する分については常時ナイロンネットで受けて先の採取物と合わせた。また、注水口で設定時間毎に採水し、水温、塩分と溶存酸素量の測定を行った。なお、残餌・糞等の懸濁物は110℃で2～3時間乾燥後秤量したもので、すべて乾燥重量で示した。

2) 給餌後の胃、腸内容物量の時間変化

当场試験筏にある3×3×3mの網生簀で養成中のマダイ当才魚(平均魚体重240g)を約2日間絶食させた後、早朝に飽食給餌し、給餌直前と3、6、8時間後に魚を10尾ずつ釣り上げ、その場で即殺してサンプルとした。これを実験室に持ち帰り、魚体重と胃、腸の内容物重量を測定した。また、マダイは夜間に釣り上げることができなかったため、2回目は夕方飽食給餌し、翌日、16、21時間と24.5時間経過後のサンプリングを行い、1回目と同様の処理を行った。なお、胃と腸の内容物はろ紙(Watman)上に出して110℃で4～5時間乾燥後重量を測定した。

表10 水槽実験におけるマダイの飼育と実験条件

項 目	1回目	2回目
実験月日	7.4-6	10.5-7
尾又長 (cm)	12.0-15.0	18.9-24.2
魚体重 (g)	45-78	171-304
供試尾数	73	51
換水率 (回転/日)	14	14
水温 (℃)	26.6-28.7	25.1-25.8
塩分	33.46-33.68	33.57-33.86
溶存酸素量 (mg/l)	4.7-5.8	5.9-6.6
投餌量 (g-dry)	65.9	131

結果および考察

水槽実験は魚体サイズをかえて2回行ったが、給餌後における懸濁物量の時間変化を図24に示す。懸濁物は2回とも給餌直後に大量に排出されたが、1～4時間後にほとんどなくなった。その後、4時間目頃から再び増加し始め、8～16時間後に多く排出された。24時間目には少し捉えられたが、この頃から懸濁物は少なくなるとともに白、緑色の宿便と思われる排泄物が目立つようになった。

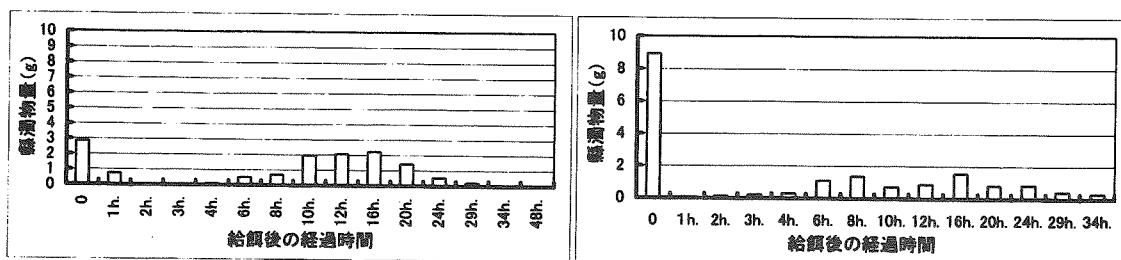


図24. 給餌後における懸濁物の排出状況

左：1回目実験，右：2回目実験

実験時に排出される全懸濁物量に対する各時間毎の懸濁物の割合の推移を図25に示す。懸濁物は給餌直後に多く排出され、この時の値が約20%であった1回目の実験時には10～20時間頃にもピークがみられた。給餌直後に70%程度排出された2回目には8～16時間頃にくいぶん多くなったが、明瞭なピークを示すことはなかった。

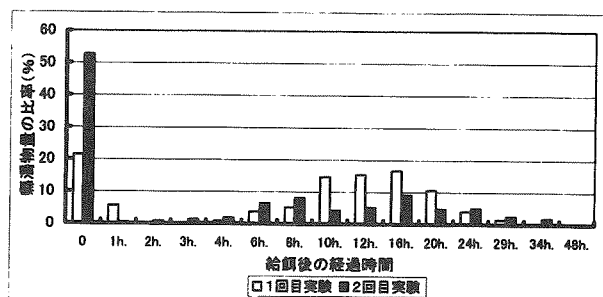


図25. 全懸濁物量に対する各時間帯の排出割合

次に給餌後における胃と腸の内容物量の時間変化を図26に示す。胃内容物は給餌直後に上昇し、餌を食べている状況が認められるが、この時には胃壁がフィラメントのように薄くなり、内壁はいくぶん出血しているような状況が観察された。その後は緩やかに減少し、24時間で摂餌直前の空胃の状態になった。一方、腸内容物は3時間目から増え始め、6時間目にピークを示し、その後、緩やかに減少していたが、24時間後においても前日と同じ値になることがなく、ここまでの時間帯では腸が空になることがなかった。

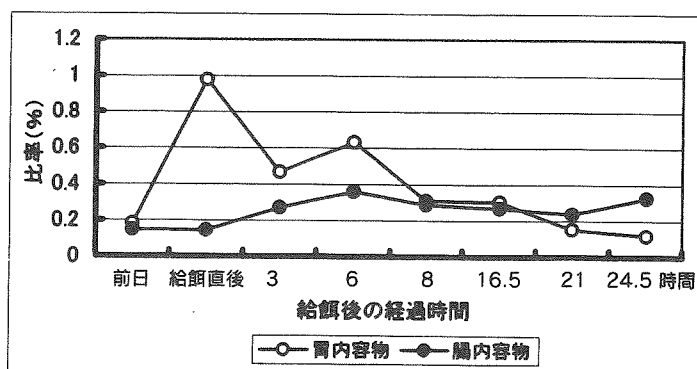


図26. 給餌後における胃内容物と腸内容物の時間変化
魚体重に対する乾燥重量の比率で示す。

以上の結果から、給餌直後に排出される大量の懸濁物が残餌を、また、その後のものを糞として扱うことが出来る。そこで、これらを集計して、給餌量を100とした時の収支を図27に示す。残餌は1回目と2回目で各々5.8%と7.2%であった。ここでは給餌を注意深く行ったが、水深の浅い水槽に魚を入れたため、餌が沈降する過程で食べられなかったものが多く、これらが水槽の底に達し、残餌として排出された。養殖現場では餌が沈降する過程で何回となく摂餌される機会があるため実際にはこの値をもう少し小さく抑えることが可能であると考えられる。糞は14.5%と5.8%で、1回目と2回目では大きく異なっていた。また、これら

を集計した排出量は13～20%になったが、これは昨年実施したハマチ（DP使用）²⁾に比べると著しく少ない値であった。

6 漁場配置と有機物の拡散状況

養殖漁場の環境は残餌や糞等による有機物負荷と漁場が備えている自浄作用、すなわち、海水交換の程度により形成される。そこで、自浄作用を高めるために海水交換を阻害しない生簀配置をすることが重要である。

ここでは、田辺湾沖合養殖場の生簀群における残餌や糞の拡散範囲を調査した。また、過去に得られた流況の結果を用いて生簀の台数を減少させた時の残餌や糞等の拡散状況についてシミュレーション解析を行った。

なお、現場調査については昨年度²⁾はトラップを用いて残餌や糞等の沈降物を収集したが、広範囲に設置することが出来なかったため、今年度は底泥中のAVSを測定し、影響範囲を推定した。

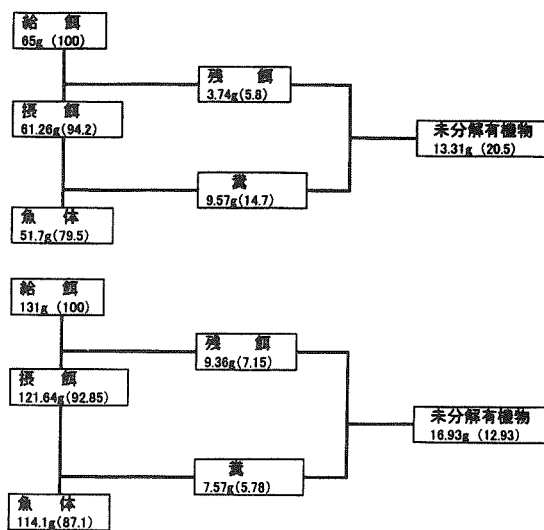


図27. 給餌に伴う未分解有機物の収支
上段：1回目実験、下段：2回目実験
()内は給餌量を100とした時の比率で示す。

方 法

1) 現場調査

調査は、田辺湾沖合養殖場の周辺に16定点を設定し（図21）、11月1日に行った。ここでは生簀群から4ライン、各々50m、100m、200mと300m離れたところに定点を設定したが、St.13からSE方向に生簀群を離れるとすぐに岩礁帯になり、採泥出来なかったため、ライン4は図に示すように変更して定点を設定した。調査項目はAVSで、分析は前項に準じて行った。

2) シミュレーション解析

田辺湾沖合養殖場では直径30mの生簀を50台並べて養殖しているが、これを45台（90%：図28）と40台（80%：図29）にした場合の残餌や糞の拡散状況について以下の方法で計算した。

(1) 流れの計算

拡散計算に必要な流れの場を計算する。

生簀が海底まで達していないため、生簀のある層とそれより海底までの下の層では流れが異なると考えられる。このため、計算には生簀の最下端までの層（上層）と、それより下の層（下層）に水深方向

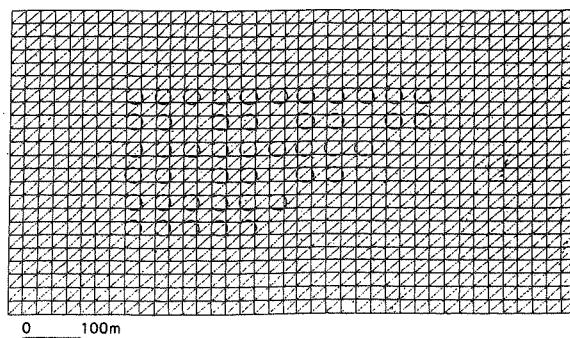


図28. 生け簀数を90%（45台）にした場合の生け簀の配置図

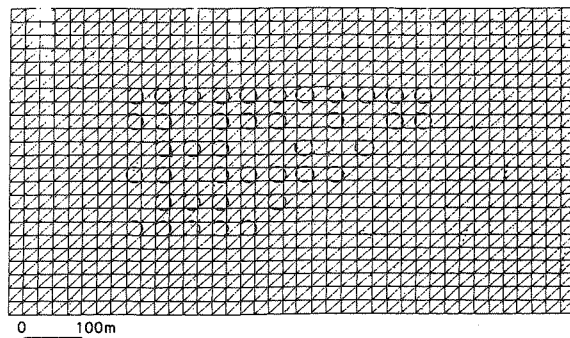


図29. 生け簀数を80%（40台）にした場合の生け簀の配置図

を2分した2層モデルを用いた。流れの計算は、基本的に前年度²⁾と同一の扱いとした。

①計算範囲

検討範囲は生簀を中心とした矩形の領域とするが、その大きさは境界が流れに影響を与えない程度大きくし、図30に示すとおり幅600m、流下方向900mの矩形領域とした。また、計算メッシュは図31に示すように生簀の直径が約30mであることを勘案して、一辺が25mの正方格子を2分割した直径3角形要素で表した。(前年度²⁾の計算に準拠した)

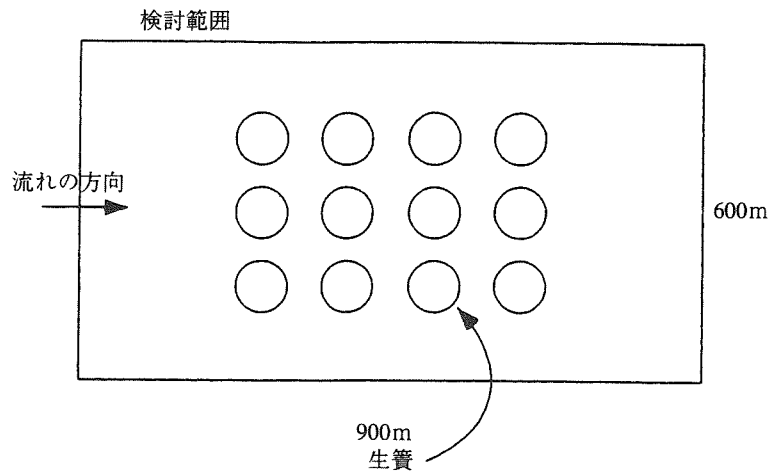


図30. 計算範囲

②計算式

3次元のナビエ・ストークスを水深方向に積分して、水深方向に2層化した2次元2層モデルを用いた。前年度²⁾と同じ式を用いる。

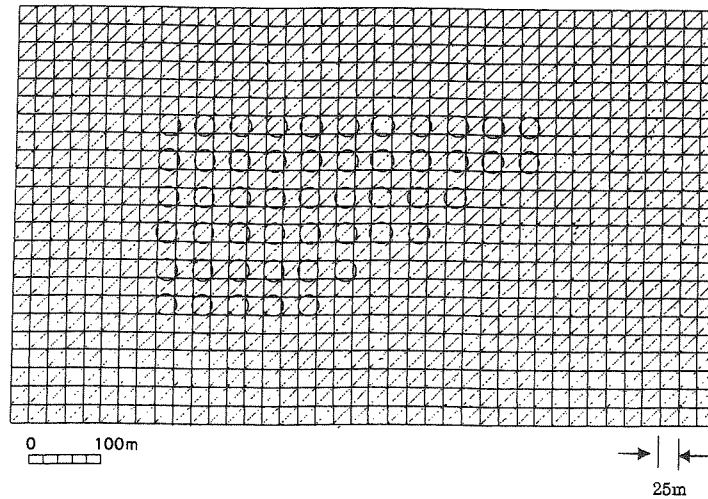


図31. 計算メッシュ

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_1}{\partial t} = & -U_1 \frac{\partial U_1}{\partial x} - V_1 \frac{\partial U_1}{\partial y} - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + fV_1 \\ & -\gamma_1^2 (U_1 - U_2) \sqrt{(U_1 - U_2)^2 + (V_1 - V_2)^2} + \rho_a \gamma_a^2 W_x |W| + A_H \left(\frac{\partial^2 U_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_1}{\partial y^2} \right) \\ & -K U_1 \sqrt{U_1^2 + V_1^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_1}{\partial t} = & -U_1 \frac{\partial V_1}{\partial x} - V_1 \frac{\partial V_1}{\partial y} - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - fU_1 \\ & -\gamma_1^2 (V_1 - V_2) \sqrt{(U_1 - U_2)^2 + (V_1 - V_2)^2} + \rho_a \gamma_a^2 W_y |W| + A_H \left(\frac{\partial^2 V_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_1}{\partial y^2} \right) \\ & -K V_1 \sqrt{U_1^2 + V_1^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_2}{\partial t} &= -U_2 \frac{\partial U_2}{\partial x} - V_2 \frac{\partial U_2}{\partial y} - \frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ &\quad + \gamma_1^2 (U_1 - U_2) \sqrt{(U_1 - U_2)^2 + (V_1 - V_2)^2} + \gamma_b^2 U_2 \sqrt{U_2^2 + V_2^2} + A_H \left(\frac{\partial^2 U_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_2}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial V_2}{\partial t} &= -U_2 \frac{\partial V_2}{\partial x} - V_2 \frac{\partial V_2}{\partial y} - \frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{\partial \zeta}{\partial y} \\ &\quad + \gamma_1^2 (V_1 - V_2) \sqrt{(U_1 - U_2)^2 + (V_1 - V_2)^2} + \gamma_b^2 V_2 \sqrt{U_2^2 + V_2^2} + A_H \left(\frac{\partial^2 V_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_2}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial \zeta}{\partial t} &+ \frac{d[(\zeta - h_b - H)U_1 + (h_b - H)U_2]}{dx} + \frac{d[(\zeta - h_b - H)V_1 + (h_b - H)V_2]}{dy} - w = 0 \\ w &+ \frac{d[(h_b - H)U_2]}{dx} + \frac{d[(h_b - H)V_2]}{dy} = 0 \end{aligned}$$

ここで記号の意味は次の通りである。

U_1, U_2 : 流速のX成分 (添字1は上層、2は下層を表す)

V_1, V_2 : 流速のY成分 (添字1は上層、2は下層を表す)

w : 鉛直方向の流速

ζ : 基準面からの水位

H : 水深

W : 風速

f : コリオリ係数

h_b : 下層の水深

ρ_a : 空気の比重

ρ_1, ρ_2 : 上層および下層の水の比重

γ_a : 海面の摩擦係数

γ_f : 生け簀の抵抗係数

γ_b : 海底摩擦係数

図32は計算式で用いた座標系を示したものである。

③ 計算方法

前記の方程式を有限要素法により離散化して数値解を求めた。

④ 条件設定

境界条件 前年度²⁾と同様、目的の流速が得られるような水位差を両端で与えた。(目標流速も前年度²⁾と同じ値とした)

抵抗係数 生簀がある要素では抵抗係数を0.33、それ以外では0とした。

(2) 拡散計算

飼料を投入して、それが拡散していく状況を以下の拡散方程式で計算した。

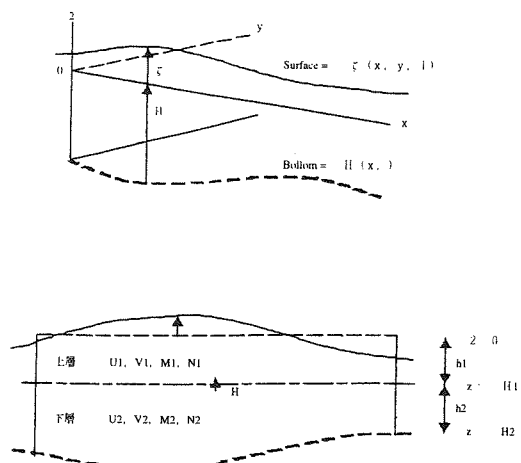


図32. 2次元2層モデルの座標系

生簀の数、配置の違いによって拡散状況の変化を調べた。

①計算式

拡散方程式を2層化したつぎの計算式を用いた。

上層の式

$$\frac{\partial(H_1 S_1)}{\partial t} - \frac{\partial(H_1 U_1 S_1)}{\partial x} - \frac{\partial(H_1 V_1 S_1)}{\partial y} - \frac{\partial(W S_1)}{\partial z} + K_x \frac{\partial^2(H_1 S_1)}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2(H_1 S_1)}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 S_1}{\partial z^2}$$

下層の式

$$\frac{\partial(H_2 S_2)}{\partial t} - \frac{\partial(H_2 U_2 S_2)}{\partial x} - \frac{\partial(H_2 V_2 S_2)}{\partial y} - \frac{\partial(W S_2)}{\partial z} + K_x \frac{\partial^2(H_2 S_2)}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2(H_2 S_2)}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 S_2}{\partial z^2}$$

ここで記号の意味は次の通りである。

- S₁, S₂ : それぞれ層1と層2の濃度
- K_x, K_y, K_z : それぞれX方向、Y方向、Z方向の拡散係数
- H₁, H₂ : それぞれ層1と層2の層厚

②計算範囲

流れの計算式と同一の範囲とした。

③計算方法

上記の拡散方程式を有限要素法で離散化し、数値解を求めた。

この際、流速U、Vなどは流れの計算結果を用いた。

④条件設定

汚濁源 生け簀に40kg/hourの汚濁負荷を与えた。

(計算メッシュ交点(図33の●の点)で負荷を与えた)

境界条件 境界条件は以下の通り設定した。

- ・上流端境界：濃度を0に固定した。
- ・横境界 : 濁質の流入出無しとした。
- ・下流端境界：濁質が自由に流出できるとした。

拡散係数 拡散係数は、流速と拡散係数をもとに一律1,000cm²/secとした。

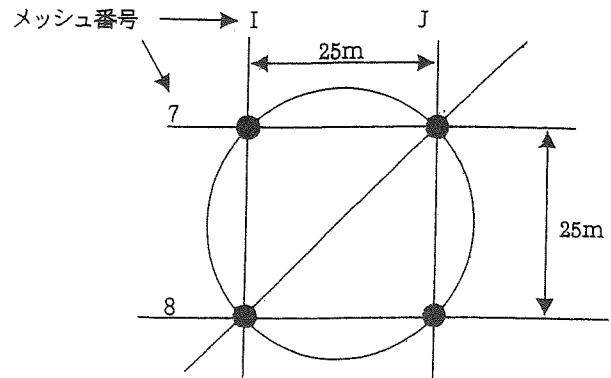


図33. 負荷与点概念図

結果および考察

生簀群周辺における底泥中のAVSの濃度変化を図34に示す。なお、ここでは生簀群内のAVSは測定していないが、前項の図5、15から生簀群内の値は0.6~0.8mg/g-dryであると考えられる。生簀群内と同じ濃度の範囲はライン1では100m離れたところ(St.2)でみられたが、概ね50mの範囲であった。また、AVSは生簀群から離れるに従って低下し、有機物負荷の影響は少なくなっている状況が捉えられた。ところが、影響の

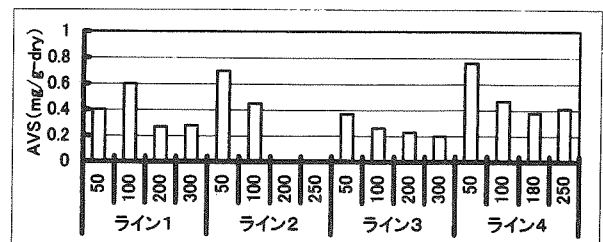


図34. 田辺湾沖合養殖場の周辺におけるAVSの分布
X軸の数値は生け簀群からの距離(m)を示す。

度合いは方向によって異なり、ライン2では200mの定点で0.1mg/g-dry以下になり、この方向では魚類養殖の影響は小さかったが、その他のラインでは250～300mの範囲でもAVSが0.2mg/g-dry以上であった。特に、ライン4では250m離れたところでも0.4mg/g-dryで、魚類養殖の影響が広範囲に及んでいることが明らかになった。

また、田辺湾沖合養殖場では直径30mの生簀が50台並べて養殖されているが、45台(90%)と40台(80%)にした場合の拡散状況についてシミュレーション解析を行った。

現況は図35に示したとおり残餌や糞等の負荷物質は流下方向に拡散し、生簀群から少し離れたところで最も多く、ここを中心に左右対称な濃度分布を示した。

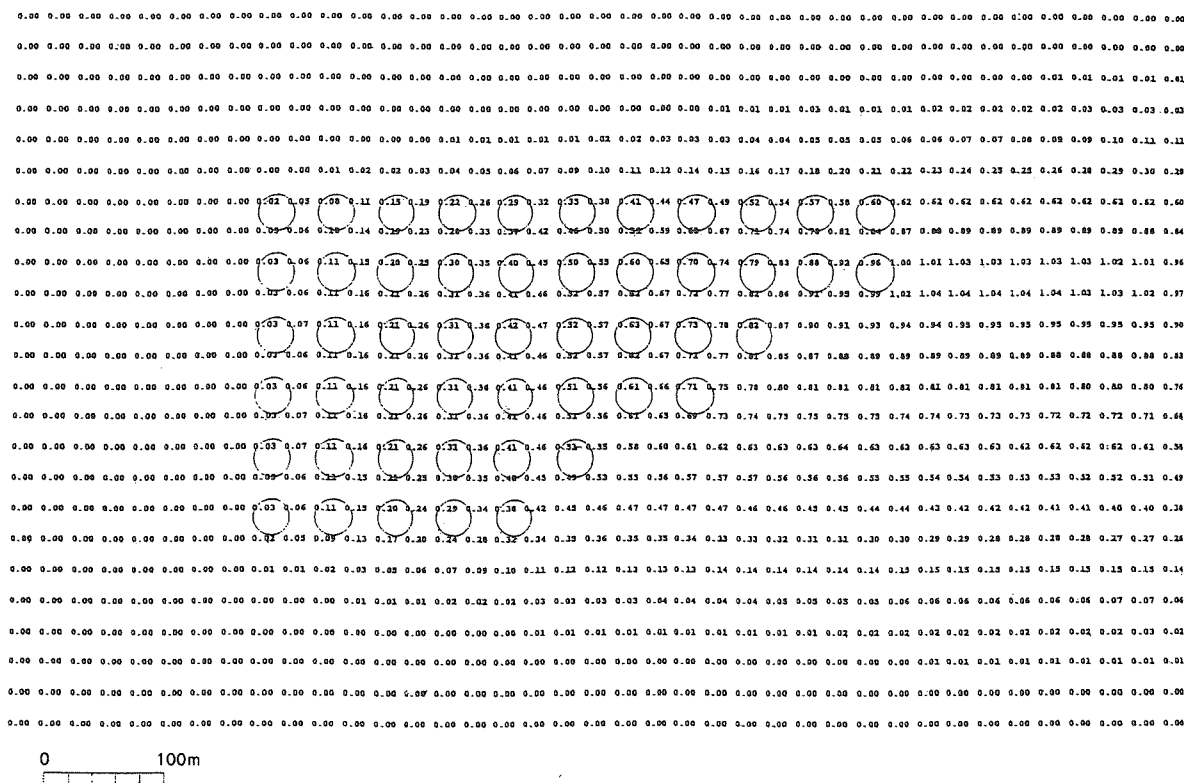


図35. 現況の濃度分布図

生簀の数を90%と80%に減らした時の濃度分布を図36～39に示す。90%と80%に減らした時の濃度分布は基本的には現況と良く似ていたが、ここでは現在の生簀配列から5台(90%)と10台(80%)生簀を抜いたため生簀の配列がランダムになり、その結果、扁平な濃度分布を示した。ところが、0.5以上の範囲を比べると現況に対して90%と80%では広範囲に及んでいた。

また、現況濃度に対する90%と80%に生簀を減らした場合の濃度の変化率を図40～43に示す。生簀の減少により濃度が低下していたが、90%では生簀群内で0.8以下に減少するところが部分的に出現していたが、80%に減少すると生簀群内から流下方向にかけて0.8以下のところが広く出現し、周辺部を含めて負荷物質の減少するところが広範囲にわたっていた。

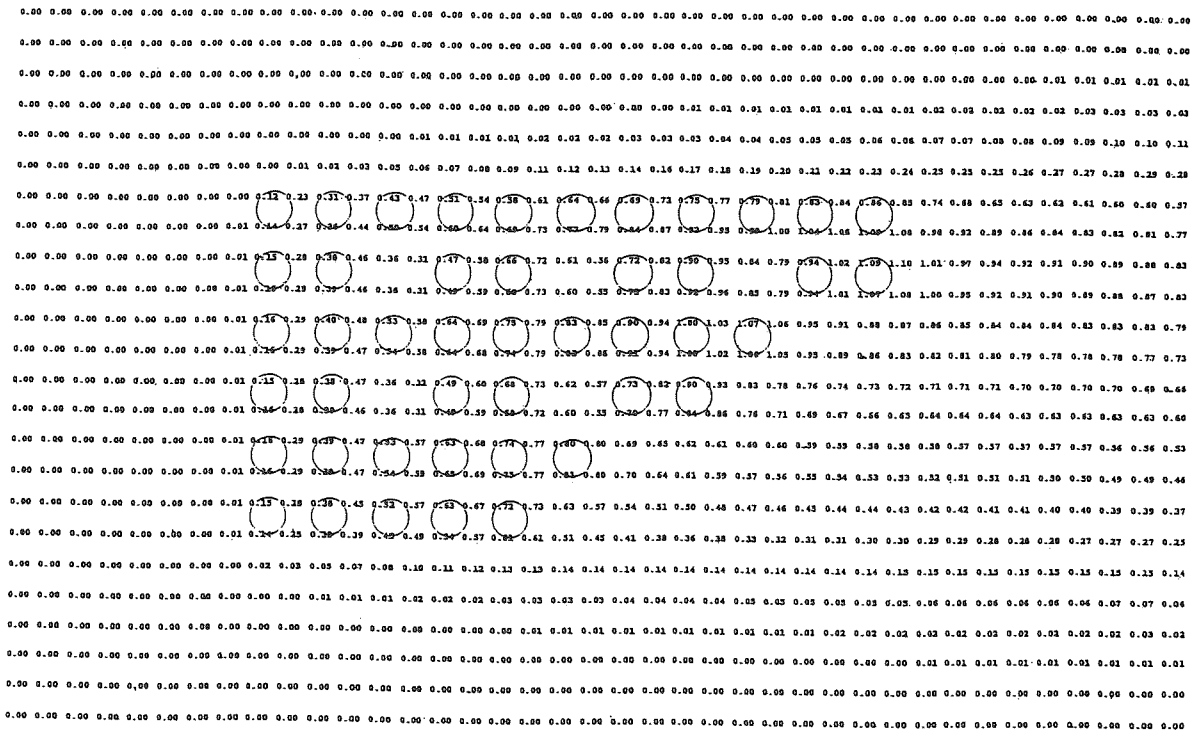


図36. 生け簀90%ケース (上層濃度分布)

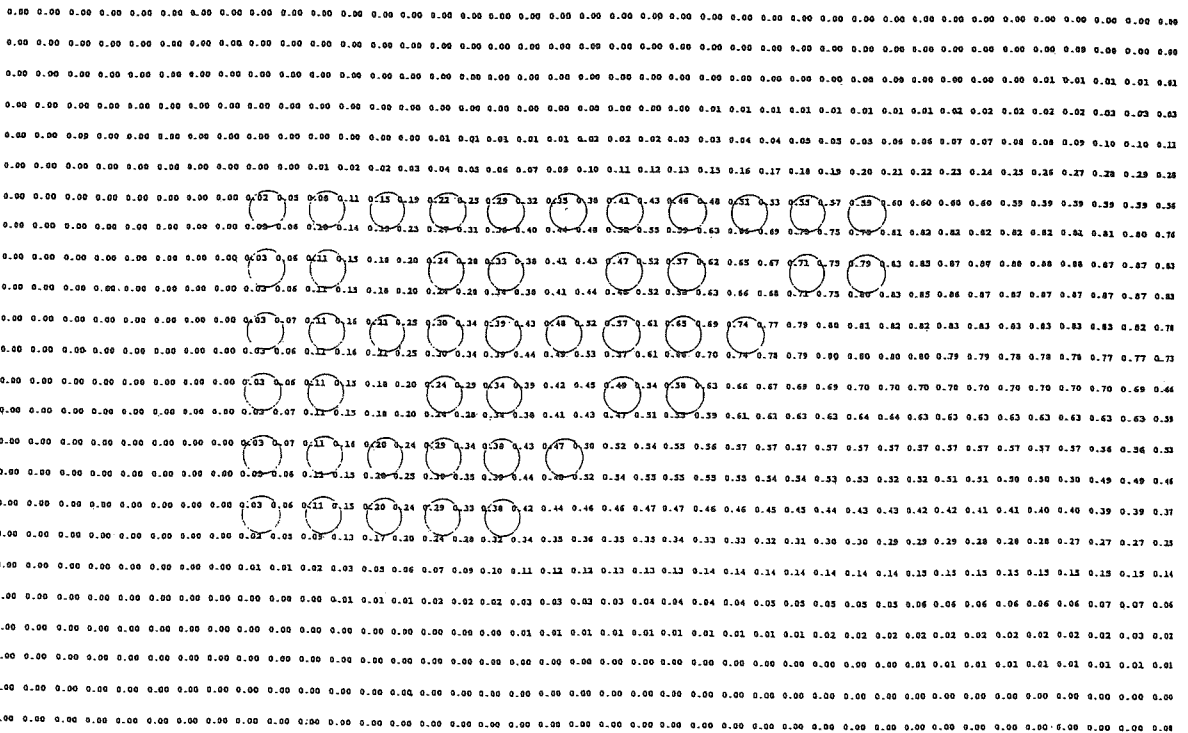


図37. 生け簀90%ケース (下層濃度分布)



図38. 生け簀80%ケース（上層濃度分布）



図39. 生け簀80%ケース（下層濃度分布）

上層 (計数濃度90% / 濃度濃度)

層別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
層別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

図40. 生け簀数90% (上層) の濃度変化リスト

下層 (計数濃度90% / 濃度濃度)

層別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
層別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

図41. 生け簀数90% (下層) の濃度変化リスト

7 県内の養殖場における底質環境

県内の養殖漁場における底質環境を調査し、漁場環境の実態を把握するとともに効果的な環境評価手法を検討した。

方 法

調査は2001年11月に図44～49に示す県内の8水域17養殖場（53定点）で行った。調査項目はCOD、AVSとマクロベントスで、採泥と調査項目の分析、測定については全て前項の環境調査に準じて行った。

なお、ここでは生簀直下の値を把握するために調査船を出来るだけ生簀につけて採泥を行った。

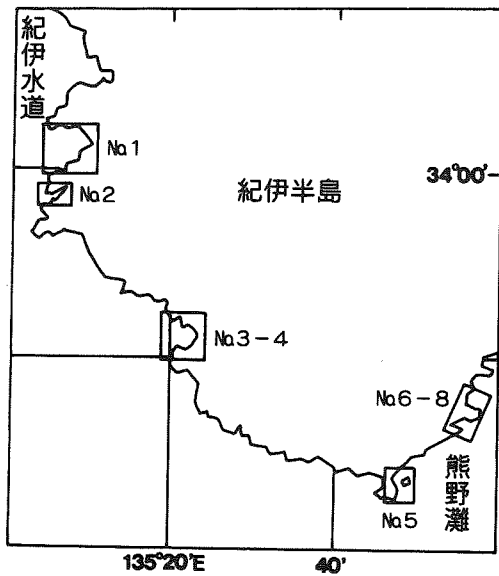


図44. 底質調査水域

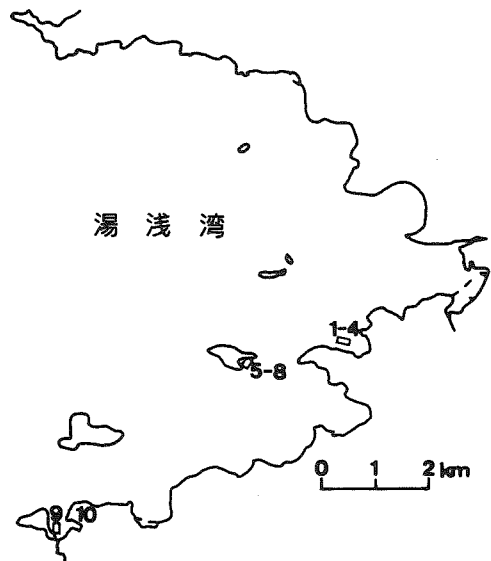


図45. 湯浅湾における底質調査定点



図46. 由良湾における底質調査定点



図47. 芳養湾と田辺湾における底質調査定点

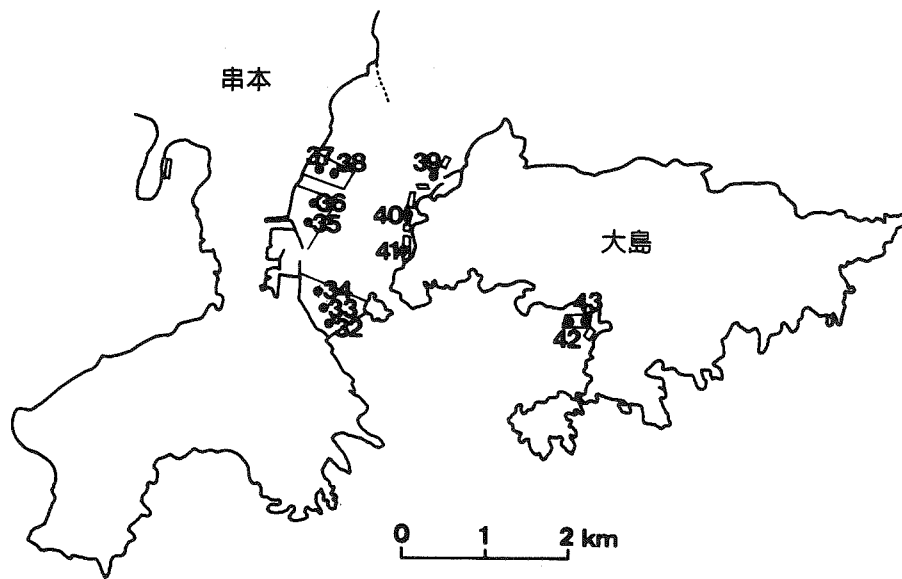


図48. 串本浅海漁場と周辺水域における底質調査定点

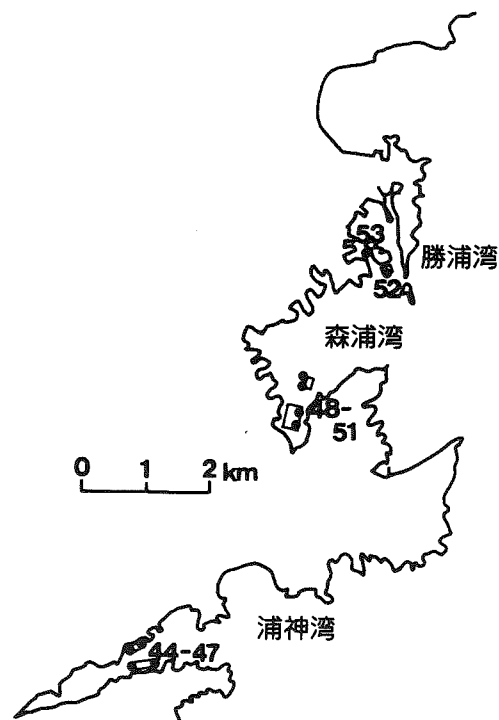


図49. 熊野灘沿岸水域における底質調査定点

結果および考察

調査結果を表 11、また、観測項目の定点別にみた濃度変化を図 50 に示す。No.4 の田辺湾では古くから魚類養殖が大規模に行われているが、漁場環境の悪化により赤潮や貧酸素水塊の多発する^{3.9)}ことが知られている。ここでの結果においても COD と AVS が極めて高く、マクロベントスは非常に低

表11 県内の養殖漁場における底質とマクロベントスの調査結果 (2001年11月)

海 域	養殖漁場	定 点	AVS mg/g-dry	COD mg/g-dry	総種類		多毛類				
					個体数 個体/m ²	湿重量 g/m ²	個体数 個体/m ²	湿重量 g/m ²			
湯浅湾	No. 1	天 洲	1	0.26	5.54	2398	11.044	2266	3.916		
			2	0.6	9.81	2662	53.478	2530	13.31		
			3	0.41	6.93	1166	239.886	792	3.124		
			4	0.83	7.15	770	42.57	594	1.76		
			鷹 島	5	0.2	8.48	5720	63.45	5390	23.47	
				6	0.114	9.49	9504	13.29	9482	13.29	
				7	0.1	9.16	5038	144.14	4576	15.77	
				8	0.153	6.72	4378	207.64	3784	27.39	
			小引浦	9	0.26	6.7	3124	23.584	2926	17.886	
				10	0.6	7.06	6336	28.644	6116	22.132	
由良湾	No. 2	神 谷	11	0.2	11.74	132	0.53	132	0.53		
			12	0.37	11.72	374	2.68	374	2.68		
			13	0.135	3.02	3806	15.818	2992	14.41		
			14	0.053	4.13	5830	16.104	5434	12.1		
				大 引	15	0.13	6.57	1452	9.988	1408	9.548
					16	0.019	5.47	2398	23.122	1672	15.818
					17	0.224	4.54	2838	12.694	2486	9.79
芳養湾	No. 3	増 試	18	0.034	5	660	2.134	616	1.782		
			19	0.5	13.79	638	2.002	616	1.122		
田辺湾	No. 4	内之浦	20	0.945	12.73	66	11.02	22	0.88		
			21	1.289	18.02	22	0.022	22	0.022		
				南部域	22	0.4	13.65	220	13.05	132	0.15
					23	0.179	11.5	198	0.46	198	0.46
					24	0.335	14.12	66	0.33	66	0.033
					25	1.2	31.11	22	0.022	22	0.022
					26	0.702	24.77	110	2	66	0.11
					27	0.643	23.25	88	1.74	44	0.11
					28	0.935	20.54	220	1.188	198	1.1
					29	0.167	10.31	616	2.29	616	2.29
		30	0.516	18.83	22	0.066	22	0.066			
		31	1.829	30.78	0	0	0	0			
		串本町沿岸 水 域	No. 5	第一	32	0.162	9.92	2728	16.126	2552	12.606
					33	0.209	11.15	4400	21.076	4180	17.644
34											
35	0.121				13.07	4598	23.914	4268	19.91		
				第二	36	0.094	10.74	5522	19.888	5280	17.996
					37						
				第三	38	0.105	7.01	4576	30.734	4488	29.238
					39	0.028	9.03	3784	18.854	3432	16.874
				大 島	40	0.073	8.5	3080	23.496	2926	19.668
					41	0.16	7	4180	30.426	3784	20.966
		42	0.069		7.66	2574	36.102	1694	5.324		
		43	0.135		4.28	4136	6.49	3894	5.742		
熊野灘	No. 6	浦神湾	44	0.053	7.21	1518	14.584	1452	14.43		
			45	0.068	8.45	572	10.15	418	6.91		
			46	0.12	10.62	374	3.56	242	2.79		
			47	0.25	9.7	770	12.74	726	11.24		
			森浦湾	48	0.032	9.38	132	0.59	132	0.59	
				49	0.03	11.82	154	12.23	110	1.32	
				50	0.055	11.19	44	0.88	22	0.858	
				51	0.038	9.3	242	1.252	220	1.23	
		No. 8	勝浦港口	52	0.003	6.4	1408	2.92	1144	2.55	
				53	0.035	8.38	3322	16.13	3300	15.82	

密度で魚類養殖に伴う有機物負荷の影響が認められた。No. 1の湯浅湾では3養殖場で調査を行ったが、St. 1～4の養殖場ではAVSが0.5mg/g-dry以上を示す定点があり、ここではマクロベントスも低密度であったが、CODは全て10mg/g-dry以下であった。ここはフラットな半島に沿った漁場で海水交換が良好であると考えられるが、最近まで、ブリに対して生餌を給餌していたことがAVSの上昇に繋がっていると考えられる。ただ、St. 1～4の養殖場以外では良好な漁場環境を備えていると考えられる。また、No. 5の串本浅海漁場から大島周辺の養殖場ではAVSとCODが低かったが、マクロベン

トスは高密度で魚類養殖に伴う有機物負荷の影響が認められた。また、熊野灘に面した水域は古くからの養殖場もあるが、AVSとCODがともに低く、マクロベントスも低密度であった。今後、横山¹⁰⁾が提案しているような内湾度や養殖規模との関係を検討するとともに、養殖場の基礎環境としての流動について調査することが重要である。

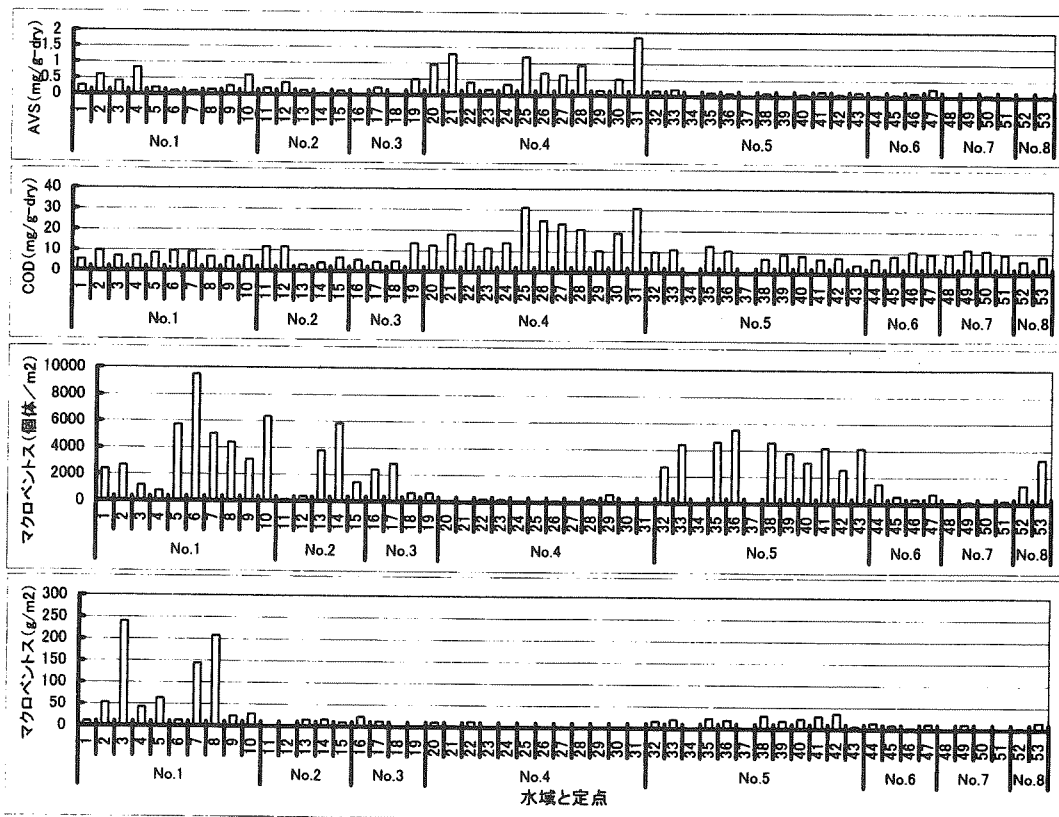


図50. 県内の養殖漁場における底質とベントスの分布密度

底泥中のAVSとCODの関係を図51に示す。両者は概ね正の相関を示し、CODが上昇するに伴ってAVSが増加していた。そこで、有機物負荷の指標としてAVSを使いマクロベントスや多毛類との関係を図52に示す。マクロベントスと多毛類ではAVSとの関係が若干異なっているが、AVSが0.2mg/g-dry付近でマクロ

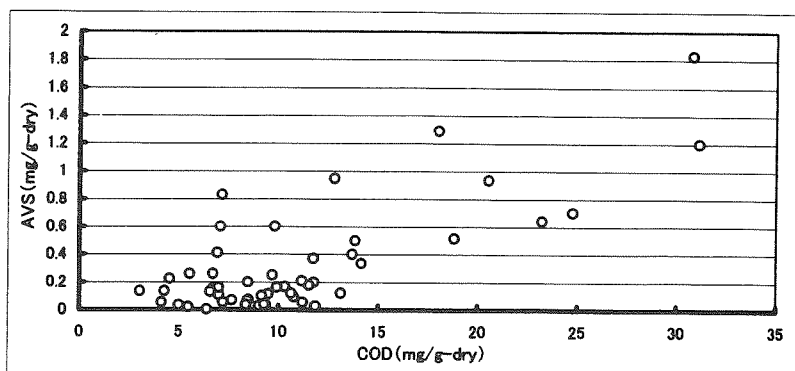


図51. 県内の養殖場における底泥中のCODとAVSの関係

ベントスや多毛類がピークを示し、0.3mg/gの範囲までは高密度に生息していたが、0.4mg/g-dryを境にマクロベントスは急激に減少していた。前項で記述したが、ここでの結果からもAVSが0.4mg/g-dryを超えるところからは生物浄化がなくなるので漁場の行使方法を改善することが必要であると考えられる。

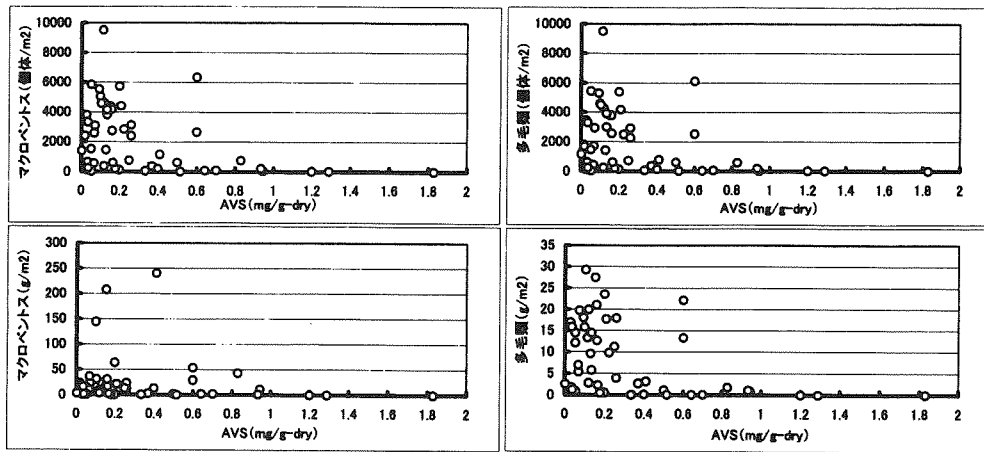


図52. 県内の養殖場における底泥中のAVSとマクロベントスの関係

III 文 献

- 1) 水産庁研究部漁場保全課、1997：漁場保全対策推進事業調査指針・漁場保全対策推進事業調査報告書様式（海面）・漁場保全対策推進事業調査報告書様式（内水面）pp.137.
- 2) 和歌山県農林水産総合技術センター水産増殖試験場、2001：平成12年度環境保全型養殖普及推進対策事業報告書. pp.33.
- 3) 和歌山県水産試験場、1993：平成4年度貧酸素水塊被害防止対策事業報告書. pp.25.
- 4) 横山 寿、2000：海面魚類養殖漁場の環境基準—その施策と問題点—。養殖研報. 29.123 - 134.
- 5) 武岡英隆・大森浩二、1996：底質の酸素消費速度に基づく適正養殖基準の決定法. 水産海洋研究、60. 45 - 53.
- 6) Omori K, Hirano T, Takeoka. 1994：The limitation to organic loading on a bottom of a coastal ecosystem. Mar. Pollut. Bull. 28. 73-80.
- 7) 横山 寿、2001：酸素消費速度・硫化物量に関する基準についての共通認識の必要性と本基準の検証に関する今後の調査方法（案）。平成13年度環境保全型養殖普及推進対策事業総合検討会資料（プリント版）、pp.4.
- 9) 竹内照文、1994. 和歌山県田辺湾における赤潮渦鞭毛藻 *Alexandrium catenella* の生態に関する研究. 和歌山県水産試験場特別研究報告. 第2号. pp.88.
- 10) 横山 寿、2000：環境基準としての底生生物. 月刊「養殖」. 緑書房. 東京. 114 - 117.