

# 環境保全型養殖普及推進対策事業\*

竹内 照文 ・ 田中 俊充 ・ 嶋本 有志

## 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でも行った。

### 1 漁場環境調査

田辺湾と串本浅海漁場において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1日、串本浅海漁場(図2の11定点)では8月5日に行った。

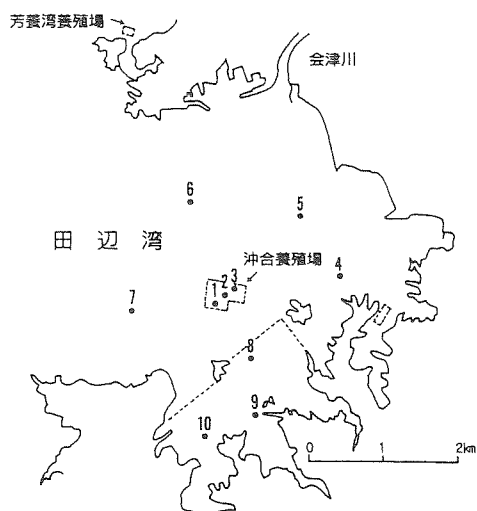


図1 田辺湾における調査定点  
養殖場は図中の点線内で示す。

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。水温、塩分と溶存酸素量は水質計(YSI社製6,000UPG)によった。採泥はエクマンバージ型採泥器(採泥面積0.0225m<sup>2</sup>)を用いて表面泥(0~1cm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。

なお、CODとAVSの分析は漁場保全対策推進事業調査指針<sup>1)</sup>によった。

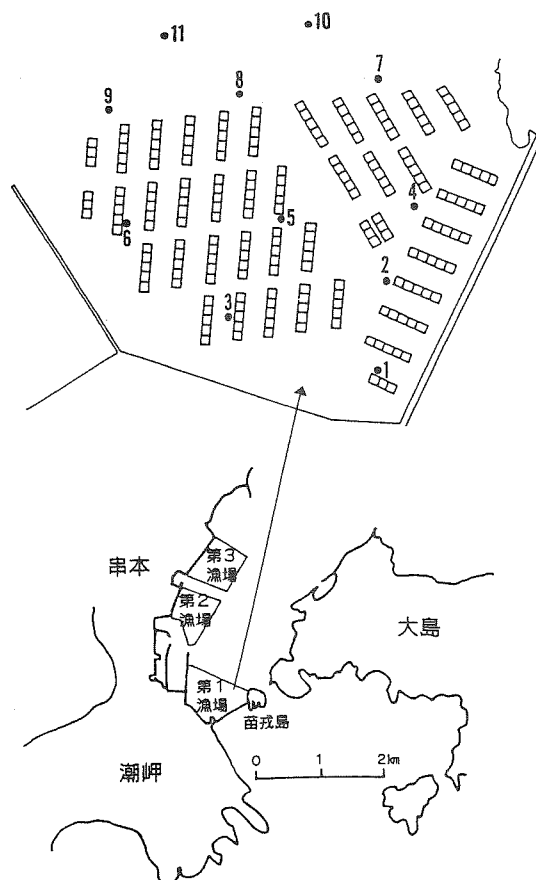


図2 串本浅海漁場における生簀配置と調査定点

\*環境保全型養殖普及推進対策事業費による

## 結果および考察

### 1) 田辺湾

水温は表層では28.2~30.1℃、底層では26.2~27.8℃で、表、底層とも湾口南側で低く、ここから外海水の侵入していることが窺えるが、湾奥部では表層が30℃、また、底層では27℃台で日射による影響が認められたことから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推測される。塩分は表層では32.00~34.00台で北部域では会津川からの影響で低塩分化していたが、湾口南側では高く、水温と同様に外海水の侵入している状況が窺えた。一方、底層では33.85~34.30で比較的均一な分布を示したが、湾口部から中央部にかけていくぶん高かった。溶存酸素量は表層では8 mg/l 台のところが多く、ほぼ全域で飽和状態にあったが、底層では南部域の養殖場周辺が6.0mg/l 以下で、この奥部では4 mg/l 台のところがあった(図3)。

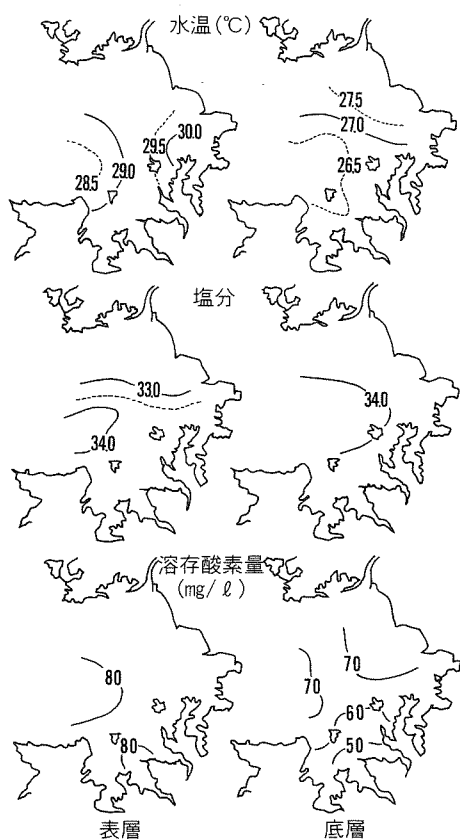


図3 田辺湾における水温、塩分と溶存酸素量の分布 (2002年8月1日)

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以上、また、AVSは0.5mg/g以上で魚類養殖に伴う有機物汚濁の進んでいる状況が窺えた。一方、湾口部から北部域ではCODが10mg/g以下、また、AVSは0.1mg/g以下で魚類養殖の影響が認められなかった。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、北部域では個体数が $1.0 \times 10^3$ 個体数/m<sup>3</sup>以上、湿重量が10 g/m<sup>3</sup>以上でマクロベントスが高密度に分布していた(図4)。

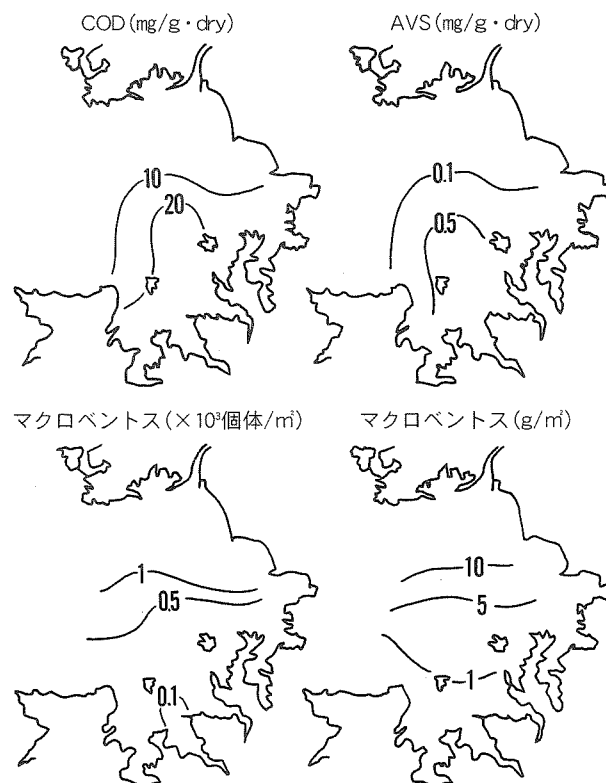


図4 田辺湾における底泥中のCOD、AVSとマクロベントスの分布 (2002年8月1日)

### 2) 串本浅海漁場

水温は表層では26.0~26.6℃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℃台であったが、西側では23℃台で3~4℃程高くなっていった。塩分は表層では33.00台、底層では34.00台で極めて均一な分布を示した。溶存酸素量は表、底層とも7、8 mg/l 台で飽和状態にあった

が、表層では養殖場が漁場外に比べると1.0mg/ℓ程低くなっていた。(図5)。

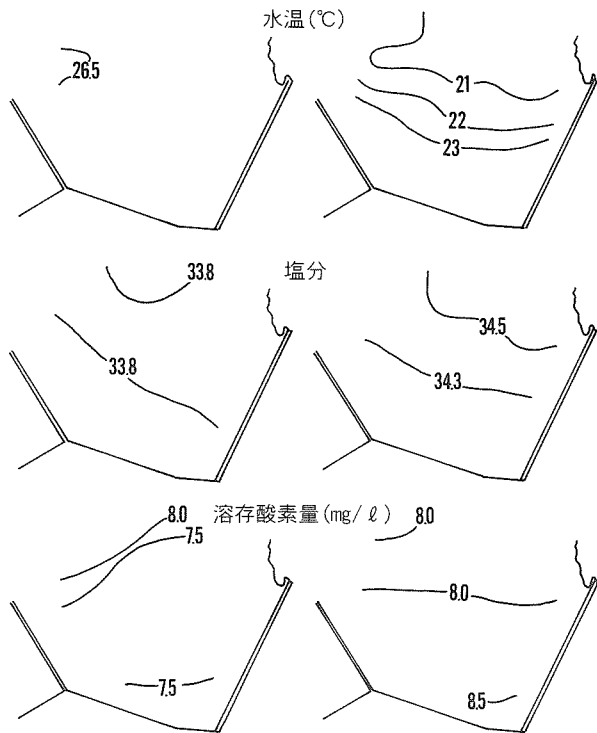


図5 串本浅海漁場における水温、塩分と溶存酸素量の分布(2002年8月5日)

底泥のCODは9.6~16.3mg/gで養殖場周辺の水深が深いところでいくぶん高くなっていた。一方、AVSも漁場外では0.1mg/g以下であったが、養殖場では高く、CODと良く似た分布を示した。マクロ

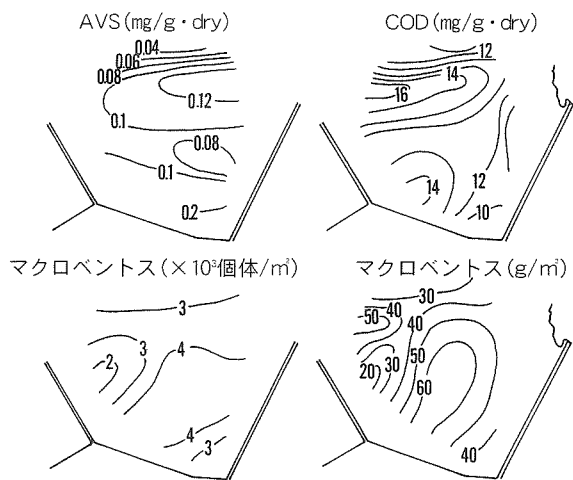


図6 串本浅海漁場における底泥中のCOD、AVSとマクロベントスの分布(2002年8月5日)

ベントスはCODとAVSの分布を反映し、個体数、湿重量ともに養殖場は漁場外に比べると高くなっていた(図6)。

## 考 察

昨年度に引き続き、田辺湾と串本浅海漁場において漁場環境が1年のうちで最も悪くなる夏季に環境調査を行った。

田辺湾では、養殖場のある南部域は周辺に比べると底層水の溶存酸素量が低下し、奥部では貧酸素水塊の形成される直前の状態になっていた(図3)。また、南部域では底泥中のCODやAVSが高く(図4)、魚類養殖に伴う有機物汚濁の進行している状況が捉えられた。ここ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が<sup>2)</sup>、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のところもあった。これは2000年から行っている調査結果<sup>3, 4)</sup>と概ね一致するものであり、田辺湾南部の養殖漁場は危機的な漁場として位置付けることができる。ただ、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<sup>5)</sup>。また、2001年には漁場改善計画が立てられるとともに従来まで使用していたMP飼料をDP飼料に切り替えている。そこで、十分な監視のもとに今後も見守ることが必要であり、ベントス群集の復活がその目安となるものと考えられる。

一方、串本浅海漁場では漁場外に比べると、底泥中のCODやAVSがいくぶん高く、マクロベントスも高密度であること(図6)から、魚類養殖に伴う有機物負荷の状況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7、8mg/ℓ台で昨年同様に溶存酸素量が低下す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。ここでは

負荷された有機物がベントス群集に分解され、正常な形で物質循環が行われているものと考えられる。ただ、2000年の調査時<sup>3)</sup>には溶存酸素量がいくぶん低下していたし、また、マクロベントスが極めて高密度であること(図6)からこの有機物負荷の多さを示すものであり、十分に監視することが必要である。

## 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、そのためには適正な飼育密度と給餌量を求め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

串本浅海漁場では3業者、上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、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、生残率と増肉係数によって比較した。

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

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7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6、7月頃の水温上昇が鈍く、しかも、ピーク時の水温が25~27℃で他の水域に比べると1~3℃程低く推移していた。一方、冬季は、田辺湾、上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。

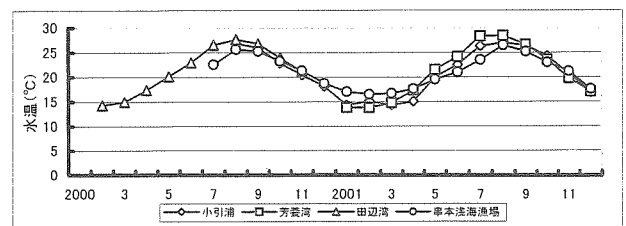


図7 調査水域における表面水温の推移

小引浦 (No. 1)、芳養湾 (No. 2) と串本浅海漁場 (No. 3 - 6) におけるマダイ養殖の状況を表1に示す。従来、マダイ養殖は初夏に稚魚を入れて開始していたが、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魚体を大きくするために秋仔を1、2月頃に入れ、養殖を始める業者が増えている。ここでもNo. 5、6は1月に入れた稚魚(秋仔)で、これ以外のNo. 1~4は全て春仔で5~7月

表1 マダイ養殖の状況

水域 業者	小引浦		芳養湾		串本浅海漁場		
	No.1	No.2	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
種苗	導入時期	2000.6	2001.5	2000.7	2000.7	2001.1	2001.1
	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 (1913㎡) 2面	10×10×6m (550㎡) 1面	12×12×7m (936㎡) 2面	13.5×13.5×9m (1549㎡) 2面	13.5×13.5×7.5m (1276㎡) 1面	13.5×13.5×7.5m (1276㎡) 1面
本格養殖	時期	3ヶ月後	直後	5ヶ月後	5ヶ月後	6ヶ月後	6ヶ月後
	密度	1.31kg/㎡	0.17kg/㎡	1.47kg/㎡	0.77kg/㎡	2.52kg/㎡	1.69kg/㎡
飼料	EP	EP	EP、MP (EP主体)	EP、MP	MP、EP (MP主体)	MP、EP (MP主体)	

に入れていた。

芳養湾のNo.2の業者は、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を与えていた。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/㎡であり、No.5が最も高密度であった。また、No.4は33,000尾の種苗を入れていたが、直後にイリドウイルス病の発生で、10%近く斃死したことで十分に給餌できなかつたため成長が悪く、本養殖に入る時の放養密度が最も低かつた。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を併用していたが、小引浦 (No.1) や上芳養湾 (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、6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8、9に示す。マダイの成長は概ね水温に支配され、高水温期 (6～12月) に良く、低水温期 (1～5月) に鈍くなつた。ただ、前述したように水域の地理的条件が大きく反映し、串本浅海漁場では他の2水域に比べると冬季はいくぶん成長していたが、6、7月頃には沿岸湧昇の影響で水温上昇が鈍く、かつ、上下変動が大きいため摂餌の悪い日が多く、他の2水域よりも成長が鈍かつた。

個別の成長をみると、2000年8月から測定を始めた3ロット (No.1, 3, 4) のマダイは概ね良く似た成長を示し、30～50gで入れた種苗が500gに成長するのに12ヶ月かかつたが、その後の成長は良く、

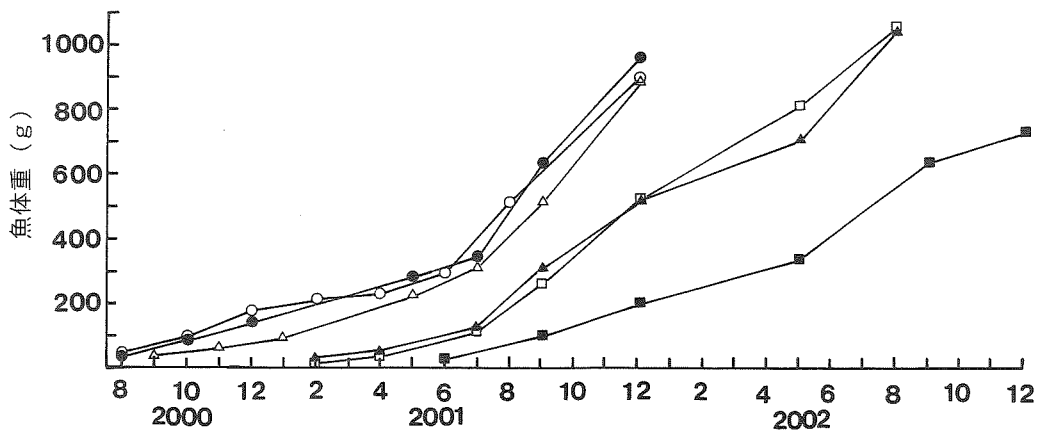


図8 各ロットごとのマダイの成長

○ No. 1, ■ No. 2, ● No. 3  
△ No. 4, ▲ No. 5, □ No. 6

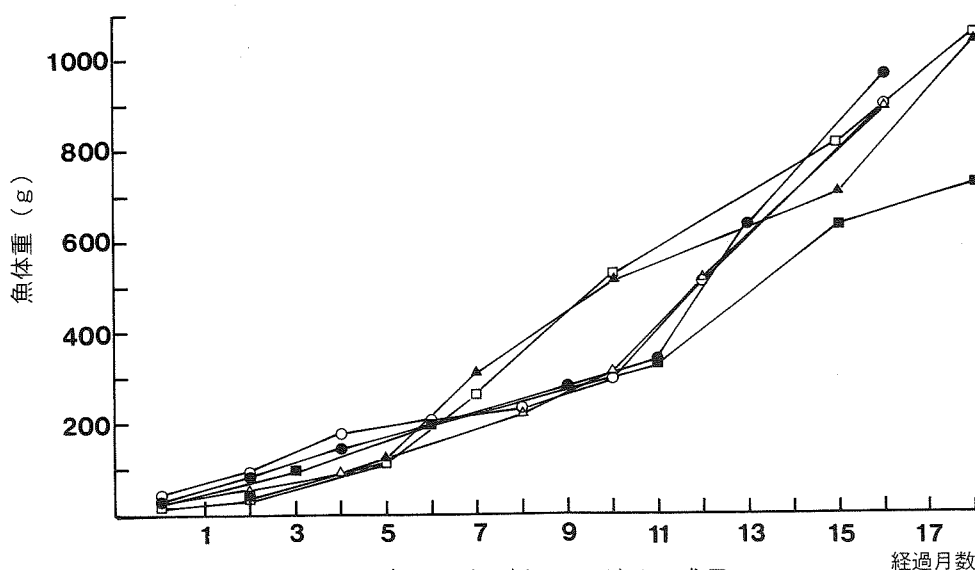


図9 各ロットごとのマダイの成長

○ No. 1, ■ No. 2, ● No. 3  
△ No. 4, ▲ No. 5, □ No. 6

15、16ヶ月後の2001年12月にはNo. 3が965gで最も大きく、No. 1、4が各々896、897gになった。一方、2001年2月から測定を始めたNo. 5、6は7月頃まで成長が鈍かったが、その後は急速に成長し、10ヶ月で500gを超え、この段階までは先の3ロットに比べると成長は著しく良かったが、その後は冬季に入ったため成長が鈍くなり、18ヶ月間飼育後の2002年8月には1,050g程度になった。ここでは、16ヶ月後の測定を行っていないため詳細な比較はしにくいですが、成長曲線から比べるとNo. 5、6のマダイは先の3ロットよりすこし劣っていたのではないかと推測される。また、No. 2は給餌量が少なく、ここで比較した6群のマダイの中では成長が著しく鈍く、18ヶ月間飼育した2002年12月で730g程度であった。

近年、串本浅海漁場では夏季のイリドウイルス病対策のため、No. 5、6のように秋仔を1～3月頃に購入し、養殖を開始する業者が多くなっているが、16ヶ月間で1kgまでの養殖を考えた場合、低水温で良好な成長を望めない月が半分以上になることから必ずしも養殖戦略としては有利でないことが示唆された。ただ、イリドウイルス病による斃死とマダイの成長をどのように捉えるかによって養殖形態を考えることが重要であろう。

次に、飼育日誌が良好に記載されていたNo. 1、3、6のマダイについて、給餌日数、増肉係数と日間給餌率の関係を図10に示す。稚魚期の給餌回数は週5、6日で3ロットとも良く似ていたが、その後の成長に伴って給餌回数を減らす状況は大きく異なっていた。No. 1では地理的特性(冬季の低水温と北西の季節風)を反映して12月から4月までは週1～2日の給餌回数で行っていたが、No. 3では週4～5日給餌していた。また、5月以降もNo. 3では週4～6日給餌していたが、No. 1では週2～3日であった。一方、No. 6は当歳魚の高水温期には週4～5日給餌していたが、冬季の低水温期には週3～4日で同じ串本浅海漁場で養殖をしているNo. 3に比べるといくぶん少なかった。日間給餌率は稚魚を入れた当初は3～5%給餌していたが、2ヶ月程経過した後は1～3%を与えていた。ここで、No. 1のマダイは当歳魚の間はNo. 3よりも少なかったが、一歳魚の夏季からはNo. 3よりも多く給餌していた。一方、No. 6は、稚魚期はMPの乾物換算で5%程度給餌していたが、7ヶ月後以降は1.5%程度になった。しかし、ここではDP飼料を補完的に投与していたため、これらを加えると2%以上になり日間給餌率は最も多かったのではないかと考えられる。

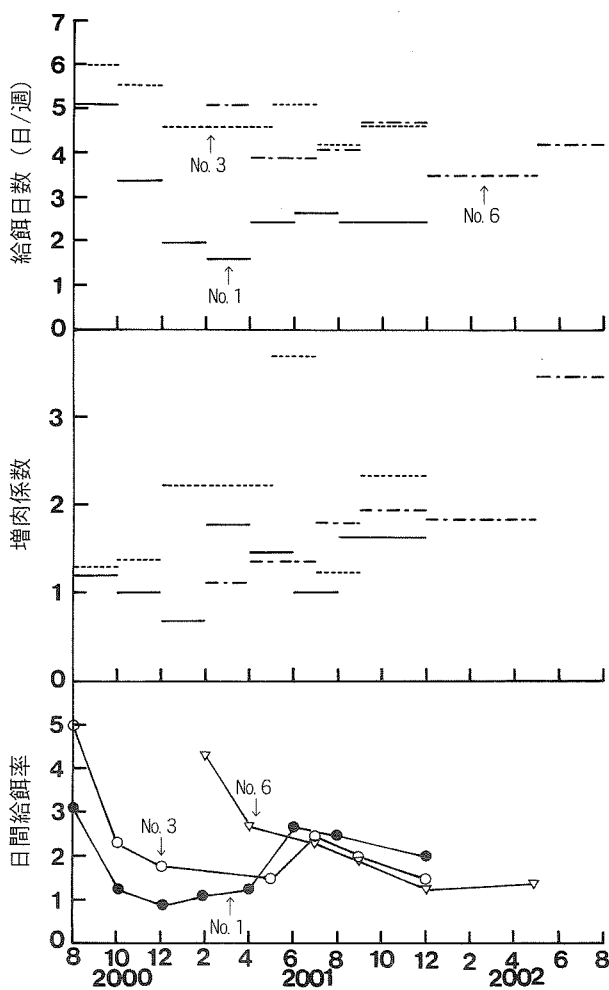


図10 No. 1, 3, 6の給餌日数、増肉係数と日間給餌率の比較

また、No. 1, 3, 6での16ヶ月間の養殖期間における斃死率、総給餌量と飼育密度を表2に示す。な

表2 16ヶ月間の養殖飼育成績

項目	No. 1	No. 3	No. 6
斃死率 (%)	1.8	19.8	15.3
1万尾当たりの総給餌量 (トン)	11.5	17.3	16
飼育密度 (kg/m <sup>2</sup> )	6.5	9.5	13.3

お、総給餌量は母数を一定にするためここではマダイ1万尾に対する値に換算して示した。また、浮き上がる死魚の2倍程度は生け簀の底に沈んでいると言われている。そこで斃死率は浮き上がって確認された数の3倍量の値で示した。No. 1では殆ど病気が発生しなかったことにより斃死率は1.8%であったが、No. 3では夏季のイリドウイルス病、また、No. 6

では稚魚期のえら虫症の発生のため各々19.8%と15.3%の斃死があった。総給餌量はNo. 1が11.5トンで最も少なく、No. 3とNo. 6では各々17.3トンと16.0トンでNo. 1に比べると1.4~1.5倍給餌していた。また、飼育密度はNo. 1が6.5kg/m<sup>2</sup>で最も低く、No. 6が最も高かった。

No. 1は成長ではNo. 3に比べるといくぶん劣っていたが、病気の発生がなく、斃死率は著しく少なかった。ここでは飼育密度が低く、しかも、給餌量が少なかったことが魚の抗病性を高め、病気の発生がなかったものと考えられる。また、魚類養殖において飼料費が生産経費に占める割合は非常に高く、昨年からの配合飼料の価格上昇が養殖経営を一層圧迫している。このような状況においてNo. 1の養殖は極めて効率の良いものであり、環境保全面からも推奨すべき養殖技術であると考えられる。ただ、ここでは飼育日誌からの1例だけであるので今後、実証することが必要であろう。

### 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)で2000年8月から2002年10月まで毎月1回の割合で行った。調査項目は水温、塩分、溶存酸素量、透明度、COD、AVS、マクロベントス、トラップ堆積量と投餌量である。トラップは2ℓ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<sup>3)</sup>。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・1m<sup>2</sup>当りの堆積量に換算した。また、投餌量につい

ては漁業協同組合からの聞き取りによった。その他の観測項目は前項と同じ方法で分析した。

### 結果および考察

沖合養殖場は田辺湾のほぼ中央部に位置し、毎年、5月上旬から11月末まで高水温期の緊急避難漁場として使われている。ここでは直径30mの円形生簀が50台設置され、ブリとマダイが養殖されている。また、ここは湾内への外海水の侵入経路にあたるため、夏～秋季には透明度が4、5mまで低下するが、外海水の侵入時には10m以上になることがあった。

水温、塩分、溶存酸素量の推移を図11に示す。水温は5月頃から上昇し始め、7～9月頃に表層で28、29℃台に達してピークを示す。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が、通常は表層が33.00、34.00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～春季の低水温期には7～8mg/l台に回復していた。田辺湾の奥部では夏季に貧酸素水塊の発生することが知られているが<sup>2)</sup>、ここは外海水の侵入による流動が良好であることから貧酸素水塊の発生することが認められなかった。

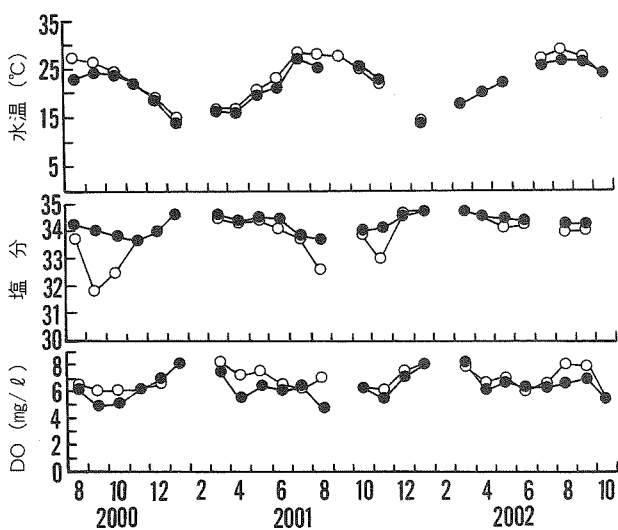


図11 田辺湾沖合養殖場における水温、塩分と溶存酸素量の推移  
○：表層、●：底層

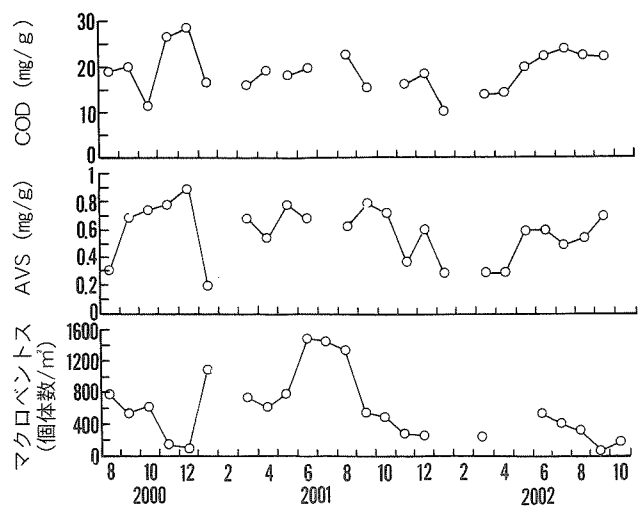


図12 田辺湾沖合養殖場における底泥中のAVS、CODとマクロベントスの推移

底泥中のCOD、AVSとマクロベントスの推移を図12に示す。CODは10～30mg/g、AVSは0.2～0.9mg/gで、両項目とも高水温期の漁場の行使期間に上昇し、冬季の休漁期に回復していた。特に、2000年8～12月や2002年5～9月にその状況が顕著であった。ここでは2000年まではMPが多く使われていたが、2001年からは大部分が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。ただ、ここで調査した3ヶ年をみるかぎり底質に変化は認められなかった。また、マクロベントスは $0.1 \sim 1.5 \times 10^3$ 個体/m<sup>3</sup>の密度で推移し、夏季から秋季にかけて減少し、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。

ここでは、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。調査結果については前年<sup>4)</sup>に報告したが、今後、投餌量をあわせて投餌から底質悪化に至る一連の過程を定量的に検討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。

## 方 法

供試魚は当研究所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32時間後までの水槽内の懸濁物（未分解有機物）を採取した。

実験は10月25、26日と11月2、3日にかけて2回行ったが、1回目はEP飼料、2回目はMP飼料を投与して行った。供試魚の大きさ・換水率等の飼育と実験条件を表3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160℃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。

表3 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	10.25-26	11.2-3
尾叉長 (cm)	17.6-21.0	17.6-21.0
魚体重 (g)	130-230	130-230
供試尾数	40	40
換水率 (回転/日)	14	14
水温 (°C)	22.6-23.9	20.3-21.5
塩分	34.05-34.26	34.15-34.28
溶存酸素量 (mg/ℓ)	6.5-7.2	6.5-7.3
餌の種類	EP	MP
投餌量 (g-dry)	64.7	169

## 結果および考察

水槽実験は同一魚群を使って2回行ったが、給餌後における懸濁物量の時間変化を図13に示す。懸濁

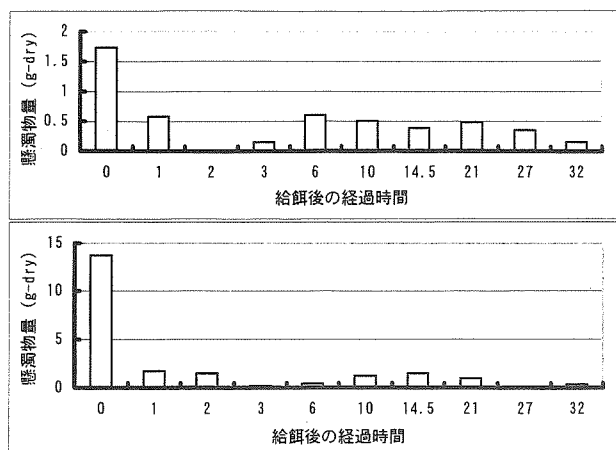


図13 給餌後における懸濁物の排出状況

物は2回とも給餌直後に大量に排出されたが、1回目のEP飼料の投与時には1～2時間後、また、2回目のMP飼料投与時には3～4時間後にほとんどなくなった。この時間帯の懸濁物は残餌によるものであるが、MP投与時には餌の崩れた微細な懸濁物が水槽内に散乱、懸濁したためEP飼料の時よりも排出に時間がかかったものと考えられる。その後、懸濁物は再び増加し始め、1回目の実験時には6～32時間後にかけて緩やかに排出が続いた。また、2回目の実験時には10～21時間後に少し多くなったが、27時間以降はほとんど排出されなくなった。

実験時に排出された全懸濁物量に対する回収時ごとの懸濁物の割合を図14に示す。懸濁物は給餌直後

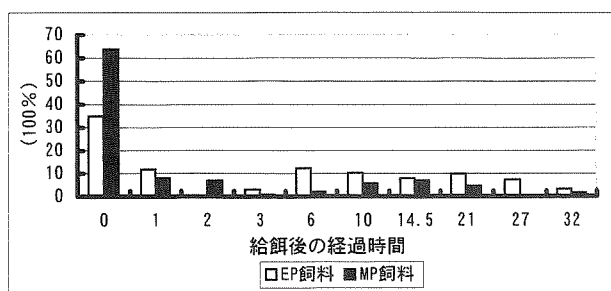


図14 給餌後における懸濁物の排出状況

に多く排出され、1回目のEP飼料投与時には50%程度であったが、MP飼料を投与した2回目の実験時には3時間後までに80%以上に及んでいた。また、6時間目以降の排出は1回目の実験では21時間頃までをピークに緩やかに減少していたが、2回目の実験では10~21時間頃に集中し、その後はほとんど排出されなくなった。

この結果から、給餌直後に排出される懸濁物を残餌、その後のものを糞として扱い、給餌量を100とした時のこれら未分解有機物の収支を図15に示す。

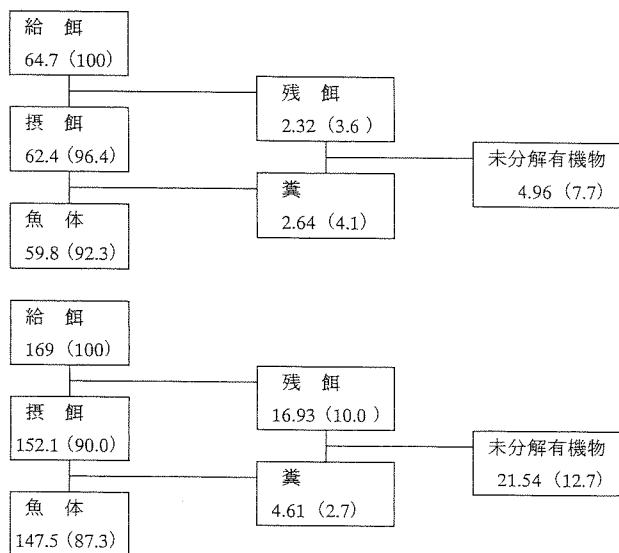


図15 給餌に伴う未分解有機物の収支  
 上段：1回目実験 下段：2回目実験  
 ( ) 内は給餌量を100とした時の比率で示す

給餌は注意深く行ったため、1回目のEP飼料投与時には残餌が3.6%であったが、2回目のMP飼料の時には10.0%でいくぶん多くなった。MP飼料は餌の形状が軟タイプであるため注意してもこの程度排出されるものと考えられる。また、糞は4.1%と2.7%で概ね良く似た値が得られた。ただ、昨年度EP飼料を投与した時には14.7と5.8%の排出がみられこと<sup>4)</sup>からすると今年度の方が少なかった。今年度は昨年に比べると供試魚の魚体が大きく、また、実験時の水温が若干低かったことが影響したものと考えられる。これら両者の排出量は7.7%と12.7%で

昨年度の実験時に比べるといくぶん少なかったが、これは糞の排出量が大きく影響したものである。

現在、マダイ養殖の現場では固形飼料と自動給餌器の組み合わせによる養殖が普及し、省力化という点からは有利な技術であると考えられる。しかし、自動給餌器を使うと魚の摂餌状態が分からないため、生理状態が低下して、摂餌が悪くなった時には残餌をたくさん出すことがある。生け簀の大きさ等養殖形態によって一概に言えないが環境保全面からは手巻き給餌を推進することが重要であると考えられる。

### 6 県内の養殖場における底質環境

水域が養殖漁業により行使された時の有機物負荷の増加に伴って底質環境が変化の様子とこれに伴ってベントス群集が変遷する状況については横山<sup>6)</sup>によって示されている。また、横山ら<sup>7)</sup>は三重県熊野灘の養殖漁場の底質環境とベントス群集の調査を行い、この中から水域の適正養殖量を求めている。ここでは、県内の養殖漁場における底質環境を

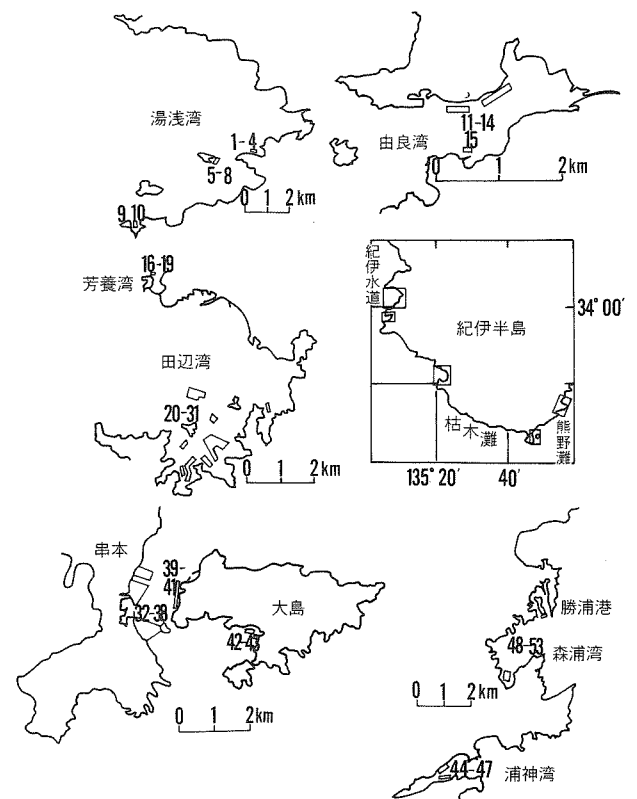


図16 底質調査の水域と定点

調査し、漁場環境の実態を把握するとともに養殖漁場の環境指標と基準値を作成する資料とした。

## 方 法

調査は2002年9月に図16に示す県内の6水域16養殖場（51定点）で行った。調査項目はCOD、AVSとマクロベントスである。マクロベントスは一辺が20cmのエクマンバージ型採泥器を用いて採泥し、船上で固定した後、1mm目合いのフルイで洗浄し、マクロベントスを選び分けた。これらは種類毎の個体数と湿重量を測定した後、種組成からクラスター解析を行った。また、その他の調査項目の分析、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。

## 結果および考察

調査結果を表4、また、測定項目の定点別にみた濃度変化を図17に示す。田辺湾ではAVSが1.0mg/g以上、また、CODが20mg/g以上を示す定点があり、両項目とも他の水域に比べると著しく高かった。また、マクロベントスは個体数で $10^3$ 個体数/m<sup>3</sup>以下、湿重量も1g/m<sup>3</sup>以下で極めて少なく、無生物の定点が多く見られた。これは昨年秋季の結果<sup>4)</sup>と一致するものであり、有機汚濁が進行した漁場環境の悪化した漁場であるといえる。

串本浅海漁場と大島の周辺漁場、更に、熊野灘に面した養殖漁場ではCODが5~15mg/gのところが多く、CODはほぼ同程度であったが、AVSは串本浅海漁場から大島周辺漁場では0.1mg/g以下のところが多く、熊野灘に面した漁場に比べるといくぶん低かった。また、マクロベントスは浦神湾や森浦湾の一部の定点を除くと個体数が $10^3$ 個体数/m<sup>3</sup>以上、湿重量が10g/m<sup>3</sup>以上で高密度に分布していた。

一方、紀伊水道に位置する湯浅湾と由良湾の養殖漁場ではCODが10mg/g以下を示すところが多く、串本浅海漁場や熊野灘の養殖漁場に比べると低濃度

表4 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（2002年9月）

海 域	養殖漁場	定 点	AVS mg/g-dry	COD mg/g-dry	総種類		
					個体数 個体/m <sup>3</sup>	湿重量 g/m <sup>3</sup>	
湯浅湾	天洲	1	0.15	6.06	1625	4.25	
		2	0.61	5.53	1275	3.3	
		3	0.27	4.58	1625	8.5	
		4	0.19	4.44	2475	6	
	鷹島	5	0.25	10.48	500	1.25	
		6	0.1	6.9	975	23	
		7	0.12	9.2	1250	12	
		8	0.17	7.65	825	6.25	
	小引浦	9					
		10					
由良湾	神谷	11	0.14	11.5	400	9.05	
		12	0.42	11.15	375	10.8	
		13	0.42	6.51	875	5.8	
		14	0.24	6.67	1200	4.25	
	大引	15	0.11	6.04	1025	5.23	
芳養湾	目良活	16	0.11	5.79	1850	29.5	
		17	0.063	4.85	1450	12.25	
	増養殖研	18	0.12	8.13	875	2.5	
田辺湾	内ノ浦	19	0.47	14.32	725	9.5	
		20	0.51	15.74	400	0.5	
	堅田	21	0.45	10.29	100	0.25	
		22	0.35	12.87	625		
		23	0.49	16.6	50	0.013	
		24	0.53	19.9	67	0.225	
		25	0.35	16.13	0	0	
		26	0.69	24.81	0	0	
		27	0.53	18.16	0	0	
		28	0.37	15.69	0	0	
		29	0.21	13.4	175	0	
30	0.98	24.19	0	0			
31	1.45	20.75	25	0.025			
串本沿岸	第一	32	0.099	7.25	4250	33	
		33	0.13	11.56	3725	54.75	
		34	0.14	14.65	6850	52.5	
	第二	35	0.5	26	1875	17.25	
		36	0.15	13.56	2500	17.75	
	第三	37	0.002	6.89	1825	9.25	
		38	0.012	6	4950	16.75	
	大島	39	0.067	5.74	2425	13.75	
		40	0.068	10.78	3550	34.75	
		41	0.051	9.77	5425	44.25	
	須江	42	0.008	5.97	1950	11.25	
		43	0.05	5.01	2400	12.25	
	熊野灘	浦神湾	44	0.268	12.68	1375	9.8
			45	0.054	10.69	3050	43.25
			46	0.26	14.01	1950	16.5
47			0.41	18.26			
太地		48	0.145	14.17	300	0.85	
	49	0.14	10.72	450	1.125		
	50	0.033	11.3	1200	9.5		
	51	0.14	12.33	4375	19		
勝浦港	52	0.016	4.29	5000	12.25		
	53	0.0016	7.52	6325	58.75		

であったが、AVSは0.2mg/g以上を示す定点が多く、CODの割にはAVSが高かった。また、熊野灘の内湾域に比べるとマクロベントスの生息密度や湿重量が少なかった。特に、湯浅湾の天洲漁場（St. 1~4）ではCODが5mg/g程度であったが、AVSは0.6mg/g以上を示す定点があった。また、マクロベントスは生息密度が $10^3$ 個体数/m<sup>3</sup>以上あったが、湿重量では10mg/m<sup>3</sup>以下で極めて少なかった。ここでは2001年と2002年の秋季に貧酸素水塊の出現したことが知られており、このようなことがベントス群集に

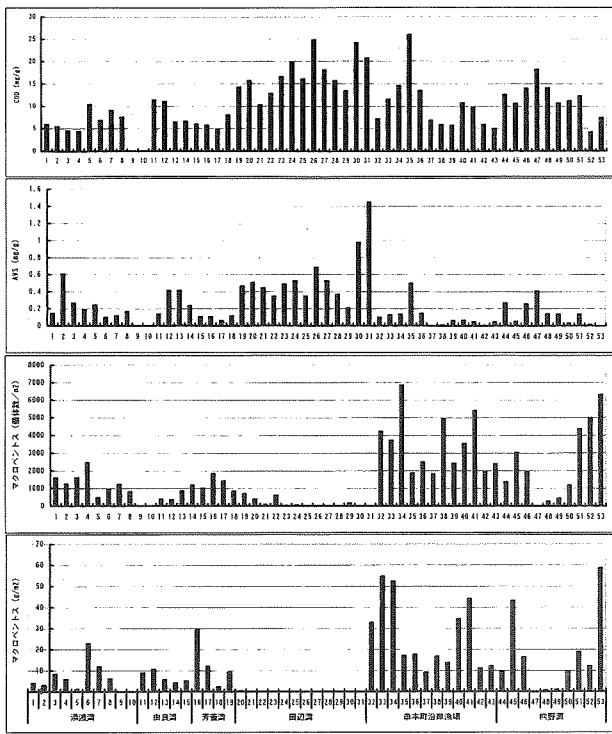


図17 県内の養殖漁場における底質とマクロベントスの分布密度

影響を及ぼしたものと考えられる。

底泥中のCODとAVSの関係を図18に示す。CODとAVSは概ね良く対応し、CODが5~10mg/gを示す範囲からAVSが発生し始め、CODが上昇するに伴ってAVSが増加していた。この関係は昨年の結果<sup>4)</sup>でも認められたものであり、有機物負荷の指標としては操作が簡便なAVSが適切であると考えられる。

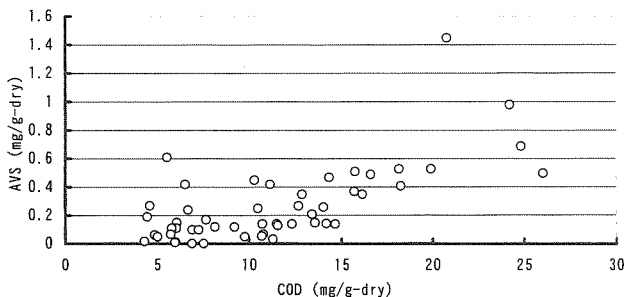


図18 CODとAVSの関係

そこで、有機物の指標としてAVSを用いマクロベントスとの関係を図19に示す。マクロベントスの個

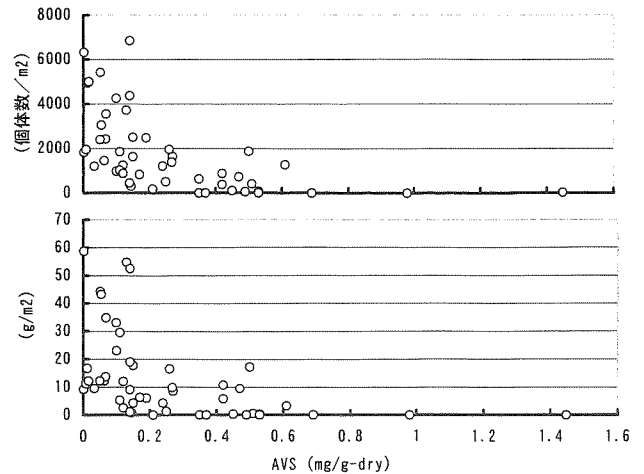


図19 マクロベントスとAVSの関係

体数と湿重量ではAVSとの関係が若干異なっていたが、AVSが増加するに伴って両者は減少していた。ただ、湿重量ではAVSが0.15mg/g付近までマクロベントスが増加し、その後減少する傾向が認められた。また、AVSが0.35mg/gを超えるところからマクロベントスの生息しない定点が出現し始めていた。2001年11月に行った結果<sup>4)</sup>では、AVSが0.2mg/gの範囲まではマクロベントスが増加し、0.4mg/g以上でマクロベントスが生息していなかったことから、AVS濃度が0~0.2mg/gまでの範囲が適正漁場、0.2~0.4mg/gが要監視漁場、また、0.4mg/g以上が危機的漁場として判断していたことと概ね一致していた。

次に、マクロベントスの主要構成種を表5、また、種組成から求めたデンドログラムを図20に示す。ここで、類似度指数(C<sub>π</sub>)0.4以上でクラスターを形成するものを区分すると6群集(A、B、C、D、E、F群集)と孤立したSt.22、6、29、20の4定点、また、夏季に無生物となる田辺湾等の定点に区分される。これら6群集では、A群集は*L.longifloria*、B群集は*Chatozone* sp.、C群集はタケフシゴカイ科、D群集は*Notomastus* sp.、E群集は*Aspidosiphon* sp.、F群集は*Capitella capitata*が共通して優占していた。また、群集として区分できなかった4定点ではイトエラスピオや*Tharyx* sp.が多かったが、出現種

表5 定点別のマクロベントス主要構成種

クラスター	海域	測点	主要種①	主要種②	主要種③
A	串本	3	<i>L.longifolia</i>	<i>Notomastus</i> sp.	キヌタレガイ
A	串本	4	イトゴカイ科	<i>L.longifolia</i>	キヌタレガイ
A	串本	5	<i>L.longifolia</i>	タケフシゴカイ科	スナウミナナフシ科
A	串本	9	<i>L.longifolia</i>	<i>Notomastus</i> sp.	スナウミナナフシ科
A	串本	10	<i>L.longifolia</i>	<i>Notomastus</i> sp.	イトゴカイ科
A	目良	3	<i>L.longifolia</i>	<i>Cirrophorus</i> sp.	<i>Chaet</i>
A	由良	4	<i>L.longifolia</i>	タケフシゴカイ科	<i>Capitella capitata</i>
A	浦神	2	<i>L.longifolia</i>	<i>Tharyx</i> sp.	<i>Chaet</i>
A	浦神	3	<i>L.longifolia</i>	シズクガイ	<i>Notomastus</i> sp.
A	森浦	3	<i>Scoloplos</i> sp.	<i>L.longifolia</i>	モロテゴカイ
A	森浦	4	<i>Mediomastus</i> sp.	<i>L.longifolia</i>	モロテゴカイ
A	森浦	6	<i>Mediomastus</i> sp.	<i>L.longifolia</i>	<i>Chaet</i>
B	串本	11	タケフシゴカイ科	<i>Chaet</i>	キヌタレガイ
B	目良	4	<i>Chaet</i>	<i>L.longifolia</i>	<i>Glycera</i> sp.
B	田辺	2	<i>Chaet</i>	-	-
B	天ス	3	<i>Chaet</i>	<i>Aonides</i> sp.	タケフシゴカイ科
B	森浦	5	<i>Chaet</i>	<i>Mediomastus</i> sp.	<i>L.longifolia</i>
C	串本	6	タケフシゴカイ科	スゴカイイソメ	フサゴカイ科
C	串本	12	タケフシゴカイ科	<i>Pseudopolydora</i>	<i>Nephtys</i> sp.
C	由良	3	タケフシゴカイ科	<i>L.longifolia</i>	<i>Chaet</i>
D	串本	1	ヒメゴカイ	<i>Notomastus</i> sp.	<i>L.longifolia</i>
D	串本	2	<i>Notomastus</i> sp.	<i>L.longifolia</i>	ヒメゴカイ
D	串本	8	ヒメゴカイ	<i>Notomastus</i> sp.	キヌタレガイ
D	由良	2	<i>Notomastus</i> sp.	ハナオカカギゴカイ	スピオ科
E	目良	1	<i>Aspidosiphon</i> sp.	<i>Chaetozone</i> sp.	<i>Magelona</i> sp.
E	目良	2	<i>Aspidosiphon</i> sp.	<i>Galathouenia</i> sp.	<i>Orbinia</i> sp.
F	天ス	2	<i>Capitella capitata</i>	タケフシゴカイ科	<i>L.longifolia</i>
F	天ス	4	<i>Capitella capitata</i>	<i>Chaetozone</i> sp.	<i>Prionospio</i> sp.
F	広川	1	<i>Capitella capitata</i>	イトエラスピオ	-
F	広川	3	<i>Capitella capitata</i>	イトエラスピオ	貧毛綱
F	広川	4	<i>Capitella capitata</i>	イトエラスピオ	<i>L.longifolia</i>
G	田辺	3	イトエラスピオ	フタエラスピオ	紐形動物門
I	田辺	1	<i>Tharyx</i> sp.	<i>Cheat</i>	<i>Cossura</i> sp.
I	田辺	10	<i>Tharyx</i> sp.	フタエラスピオ	-
J	浦神	4	-	-	-

と生息密度が低かったため優占種として扱うことが困難であるが、孤立したこれらをGグループとしてまとめた。また、無生物であった定点をI区として8つに区分した。

次に、群集ごとに底質 (AVS、COD) とマクロ

ベントスの項目ごとの比較を図21に示す。個体数が比較的多かったA、D群集では種類数が多く、湿重量も多かった。ここではAVSが0.2mg/g以下の定点が多く、また、CODは10mg/g前後で、養殖漁業により負荷される有機物がマクロベントスの生息を促進しているものと考えられる。また、個体数がいくぶん少ないB、Cの2群集は湿重量は低かったが、種類数も多く、多様度高かった。ここではAVSが0.4mg/gを越える定点があったが、CODが低く、硫化物の発生がマクロベントスに影響を与えているものと考えられる。また、汚濁指標種の*Capitella capitata*が優先するF群集では種類数が少なくなり、多様度指数が低くなっていた。更に、G群集として一まとめにした定点では種類数が少なく、多様度が低下し、マクロベントス群集が貧相になっていることが窺えるが、ここでは他の群集よりもCODとAVSが高く、有機物負荷がマクロベントスに影響を与えていたものと考えられることから要監視漁場として位置づけることができる。また、無生物のH区はCODとAVSが極めて高く、危機的漁場として捉えることができる。

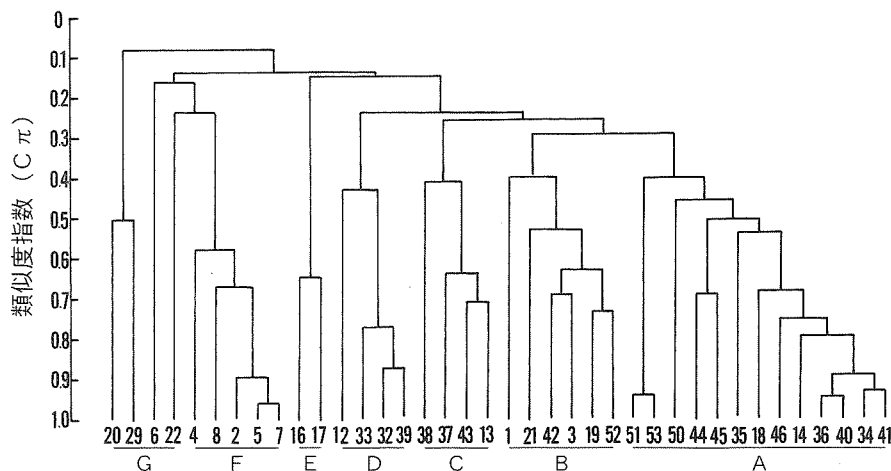


図20 定点間のデンドログラム

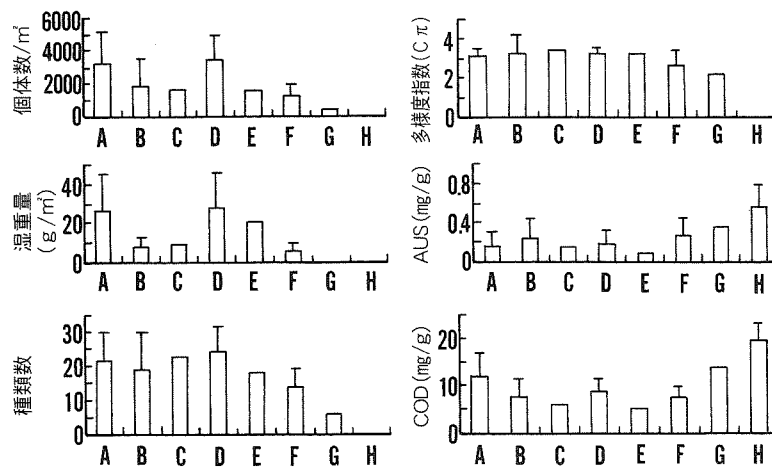


図21 マクロベントスから区分した群集間の観測項目の差異

## 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.
- 3) 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.
- 4) 和歌山県農林水産総合技術センター水産増殖試験場、2002：平成13年度環境保全型養殖普及推進対策事業報告書. pp.32.
- 5) 竹内照文・芳養晴雄・嶋本有志・田中俊充、2002：田辺湾南部の養殖漁場における環境の推移と魚病の発生状況. 和歌山県農林水産総合技術センター研究報告、第3号、11-16.
- 6) 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和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.
- 7) 横山 寿・西村昭史・井上美佐、2002：熊野灘沿岸のベントス群集に基づいた海面魚類養殖場の環境基準. 水産海洋研究、66（3）、142-147.