

着底期以降のマダイ幼稚魚の動態解明

マダイ増殖場効果調査（東淡地区）

南西海区水産研究所資源増殖部 松永浩昌*・船江克美**・佐古 浩
福原 修***・大池数臣****

マダイは3 cm以上になると諸器官の機能が十分に発達し（福原1975）比較的食害が少なくなると考えられる。従って資源量に最も大きく影響するのは浮遊期に次いで、着底期及び以後暫くの期間の生残と推測されるが、この時期の調査は残された課題となっている。そこで本調査は特に着底期前後からの発育段階における生態と、着底期以降の生残を左右する餌料関係に焦点を当て、室内実験で稚魚期移行のサイズを把握すると共に、野外調査で造成された餌料藻場域及びその周辺域を実験区とし、着底期以降のマダイ幼稚魚と餌料生物との関わりや他魚種との競合関係等を検討する事によって、増殖場造成の効果判定に役立てる事を目的とした。

調査地点と方法

1) 室内実験

仔稚魚飼育により得られたサンプルから、成長、稚魚期のサイズ、日令の把握、消化器官の発達を明らかにする。

2) 野外調査

調査したマダイ増殖場は図1に示す様に兵庫県淡路島の東部域に位置し、水深10m付近に投石より成る餌料培養を目的とした投石礁、水深25~50mに魚礁が設置された未成魚育成礁及びこれらの中に挟まれた15~25m水深の砂泥域（調査地点A）より構成されている。また対照域として調査地点Aと同水深の砂泥底域（調査地点B）を設定した。

*現 水産庁振興部開発課 **現 退職

後に日本海区水産研究所, 91年逝去 *現 北海道区水産研究所

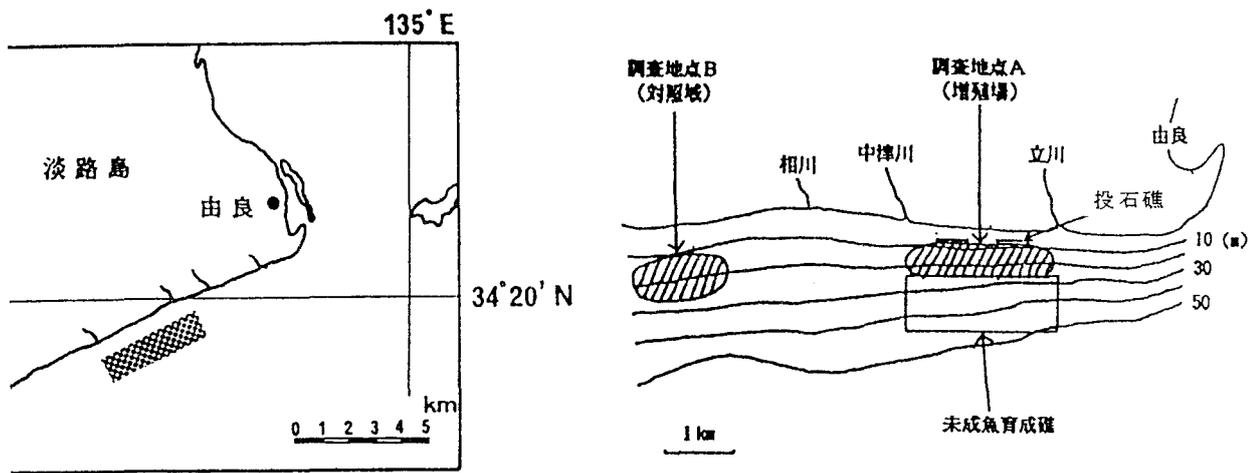


図 1. 調査地点図

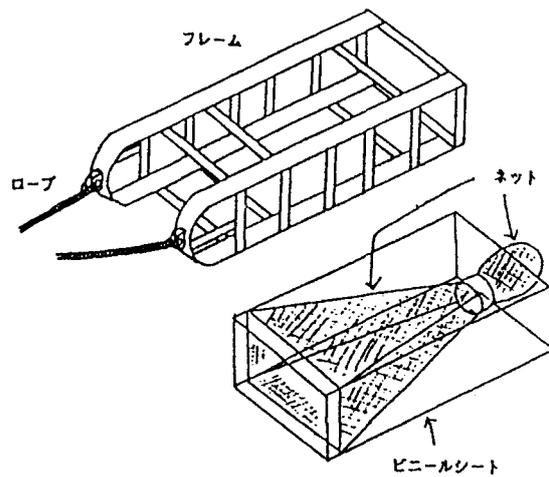


図 2. 浮遊性底生生物採集用そり型ネット

餌料生物の採集は浮遊性底生生物採集用に作製したそり型ネットを使用して行った(図2)。これは幅60cm, 高さ30cm, 長さ150cm, 厚さ5mmのアルミ製フレームに, 開口部60×30cm, 目合0.5mmのネットを装着したもので, ネットカバーとしてビニールシートで覆っている。そり型ネットは船上から投入し, ロープの長さがおよそ $((\text{予定引き網距離})^2 + (\text{水深})^2)^{1/2}$ になる地点で船をアンカーで固定した。ネット引きは船のローラーを使って0.5~1.0m/秒を目安に一定速度で行った。また, 直後にブランクとして垂直引きを行った。採集地点は調査地点A内の投石礁の近傍(水深約15m)及び未成魚育成礁の近傍(水深約25m)と調査地点B内の同水深の地点である。また, マダイ幼稚魚の採集は小型底引き網により, 調査地点A及びBで行った。調査は1990年5月30日, 6月27日, 8月1日, 1991年6月5日, 7月4日, 8月29日の6回行った。

マダイの生態観察は潜水調査により1989年8月8~9日に, 南西水研調査船しらふじ丸搭載の水中テレビロボ(ROV)を使って1991年7月4~7日, 8月28~31日に行った。どちらも投石礁, 調査地点A, 未成魚育成礁, 調査地点Bの4地点を対象としたが特にROVによる観察は, 午前, 午後, 夜間の3つの時間帯を網羅出来るように行った。ROVの仕様については見元他(1991)に詳しいので, この場では省略する。

結果

1) 室内実験

飼育条件下での, 孵化から稚魚期までの成長は $Y = 2.2 e^{0.0525X}$ (Y; 標準体長, X; 孵化後日数, $n=1700$, $r=0.988$) で示された。水槽内では孵化後27日目(平均体長約9.0mm)に着底個体が出現し, 以後日毎に増加して大きさの変異も大きくなった(図3)。稚魚は孵化後26日目に初めて出現し, 33日目で全個体が稚魚となった。これらの個体の体長範囲は7.38~9.33mmであり(図4), 稚魚への移行が生じた日数を積算温度で表すと526~692℃であった(図5)。また, 消化系器官は後期仔魚期に幽門垂原基が出現し, 稚魚期には成魚と同じ基本型を示した(図6)。

2) 野外調査

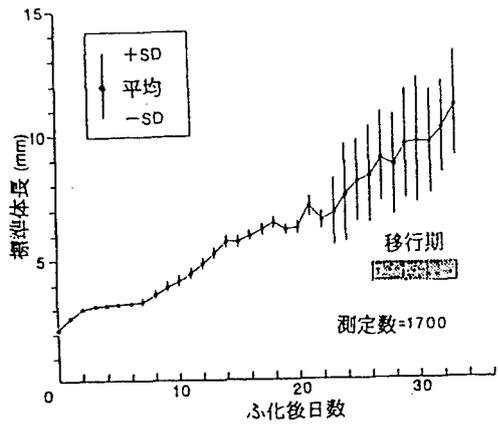


図3. 飼育による稚魚移行までの成長曲線

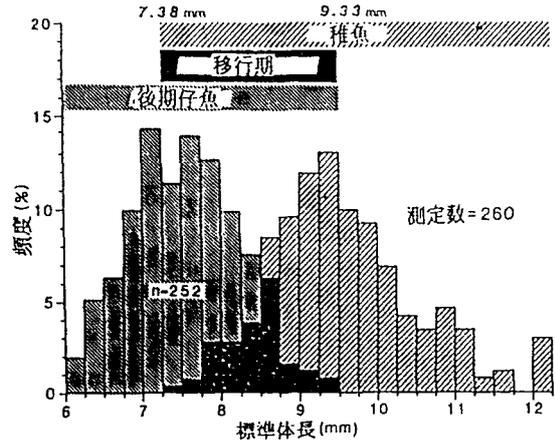


図4. 稚魚移行に要する標準体長

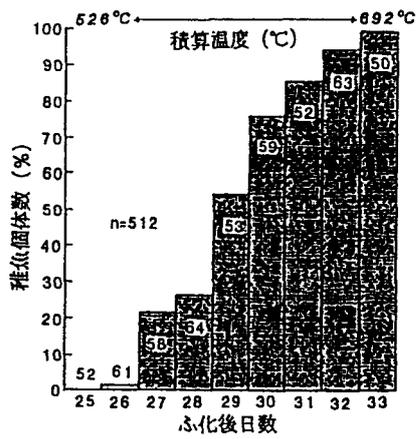


図5. 稚魚移行に要する孵化後の経過日数

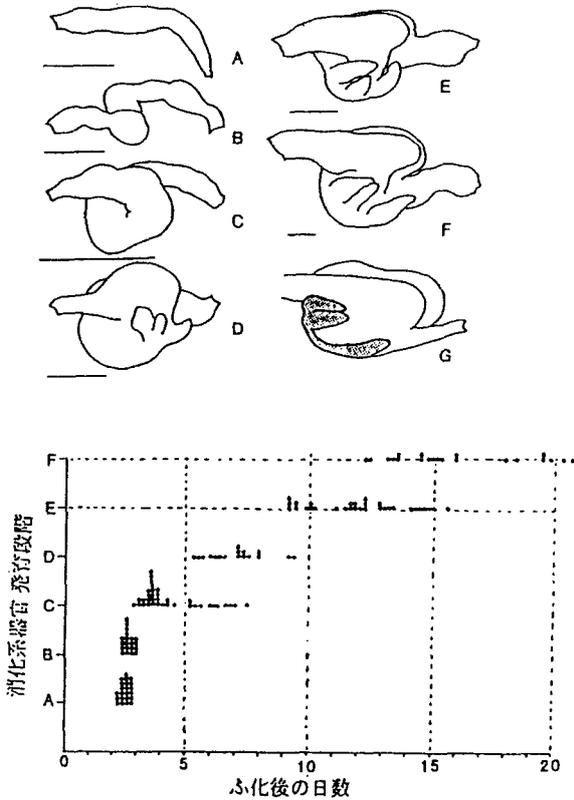


図6. 消化系器官の発達

表1にそり型ネットで1990年に採集した浮遊性底生生物の組成を示した。各サンプルでネット引きの距離が異なるので、引き網面積100㎡当りの採集個体数に換算して表した。主体はカラヌス類，十脚類であった。カラヌス類は5，6月に100㎡当り200～500個体採集され，対照域に比べて多かったが，8月には減少傾向にあった（図7）。主要種はCalanus sinicusであったが，Centropages yamadaiやコペポダイド幼生が多い場合もあった。十脚類はゾエア幼生が殆どを占めていたが，その変動には際だった特徴は見られなかった（図8）。その他ではSagitta nageaeを中心としたヤムシ類，Oikopleura longicauda（オナガオタマボヤ）を始めとするOikopleura数種で構成されていた尾虫類，Evadne tergestine（トグナシエボシミジンコ）が大部分を占める枝角類が多く出現した。表2に1991年の浮遊性底生生物採集結果を示した。1991年もカラヌス類，十脚類が主体となっており，種組成も1990年と同様の傾向を示したが，ヤムシ類，尾虫類は少なかった。一方，対照域ではカラヌス類が少なく，端脚類，クマ類，アミ類が多い傾向にあった。

マダイ稚魚の食性については，1990年の3回の調査日のうち唯一サンプルが採集された6月27日の結果を同日採集された浮遊性底生生物の組成と共に表3に示した。稚魚は全長34～45mmの範囲にあった。また，参考としてイブレフの選択指数を算出して併記した。最も多く摂取されていたのは尾虫類で，調査地点Aではカラヌス類がこれに続いていた。浮遊性底生生物の中ではC. sinicusやEuchaeta sp.が餌料として摂取されていたが，量的には少なく，選択指数は低かった。これと反対の現象がAcartia omoriiで見られた。一方，マダイの摂餌頻度，個体数とも多かった尾虫類は，そり型ネットでは5月30日には多く採集されたが6月27日にはほとんど無かった。

潜水による調査では，投石礁でマダイ幼魚（3～4cm），ウマヅラハギ，イシダイ，ベラが，未成魚育成礁でマダイ幼魚（3～4cm），1才魚が確認された。一方，対照域ではネズツポ類が確認されたのみで，マダイは見られなかった。ROVによる生態観察は，現場の流れが早くて不規則なため観察時間が制限されたものの，7月はほぼ予定を終了させた。しかし8月は台風の影響で投石礁，調査地点Aの観察に留まった。しかも砂が巻上がって，視界が不良であったのに加え，推進機の故障で固定式とせざるを得ない時もあったりして十分な観察

表2. そり型ネットで採集した浮遊性底生生物の組成 (1991年)

調査時期	6 月			7 月			8 月					
	A-15	A-25	B-15	B-25	A-15	A-25	B-15	B-25	A-15	A-25	B-15	B-25
採集地点	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
水深 (m)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
引き網距離 (m)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
引き網面積 (m ²)	0.6102	1.4708	0.9683	1.1636	1.0553	0.4551	1.8711	1.1972	0.3543	0.4683	0.3550	0.7486
サンプル量 (g)	18.2	~19.9	18.3	~20.6	21.0	~21.6	20.4	~21.5	25.3	~26.0	25.6	~26.0
水温 (°C)	30.4	~31.3	30.9	~31.1	30.8	~31.1	31.0	~31.3	31.0	~31.1	31.0	~31.1
塩分 (‰)	10		8		9		8		6		5	
透明度 (m)												
種	1725.0	226.7	246.7	143.3	36.7	6.7	13.3	83.3				
門	6.7											
腔腸												
ヒドロ虫												
袋形												
昆虫												
多毛												
環形												
触手	5.0											
腕、二枚	13.3											
甲殻	11.7											
枝角												
輪形												
介形												
輪形												
カラス	5.0	170.0	11.7	68.3	18.3	13.3	53.3	10.0				
Calanus	10.0	135.0	31.7	33.3	26.7	8.3	1.7	38.3	5.0	10.0		
Eucalanus												
Paracalanus	20.0	11.7			6.7	8.3						
Euchaeta						8.3						
Centropages						8.3						
Acartia	11.7	10.0	5.0	16.7	10.0	1.7						
omorii												
pacifica												
Corycaeus	31.7	33.3	16.7	6.7	6.7							
Copepoda												
affinis												
nauplii												
nauplii												
nauplii												
Acanthomysis												
sp.	6.7	186.7	25.0	3.3	6.7	55.0	5.0	60.0	16.7			
クマ	6.7	40.0	25.0									
等脚												
端脚												
Oediceroidae												
Gammaridea	21.7	6.7	53.3	41.7	10.0	41.7	205.0	86.7	25.0	95.0	3.3	30.0
オキアミ												
十脚												
Macrura												
Brachyura	141.7	668.3	65.0	300.0	43.3	33.3	171.7	128.3	20.0	11.7	151.7	10.0
口脚												
Sagitta												
nagae												
spp.juvs												
毛顎												
ヤムシ												
輪皮												
Doliolum												
原索												
尾索												
計	291.7	3090.0	743.3	903.3	166.7	126.7	1096.7	2796.7	285.0	463.3	291.7	1080.0

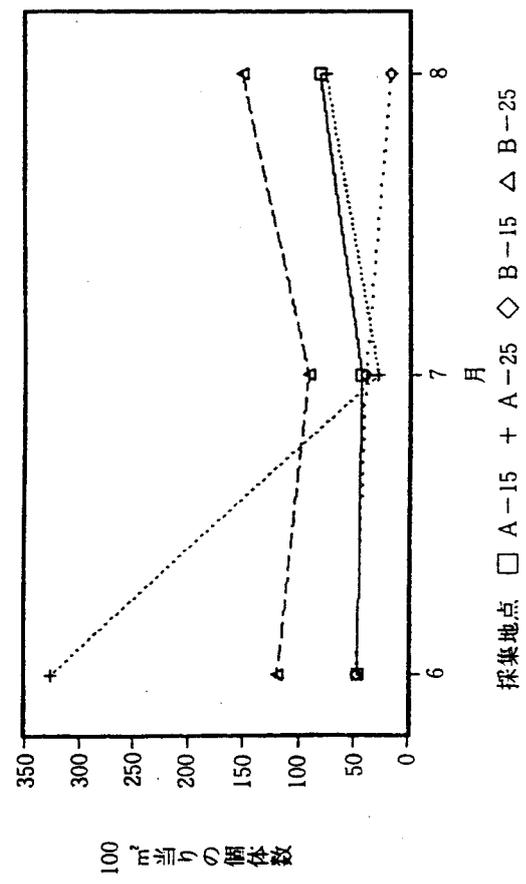
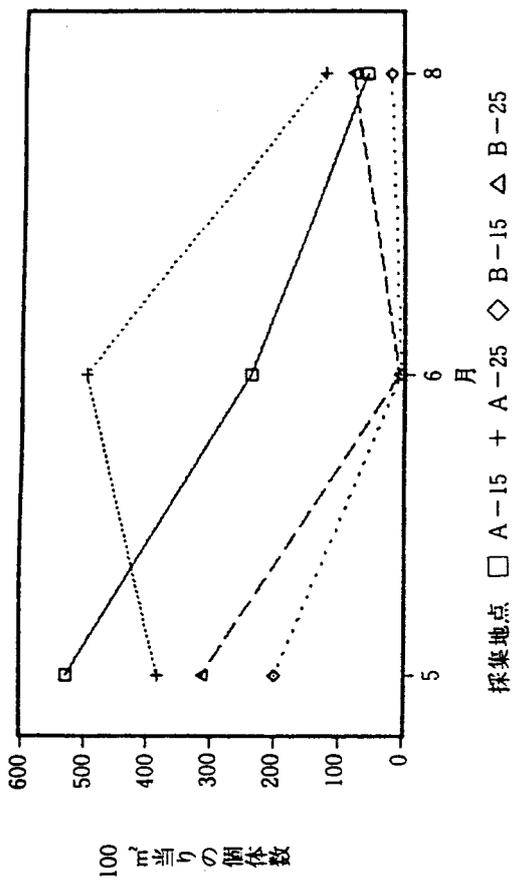


図7 カラスス類の変動、上；1990年、下；1991年

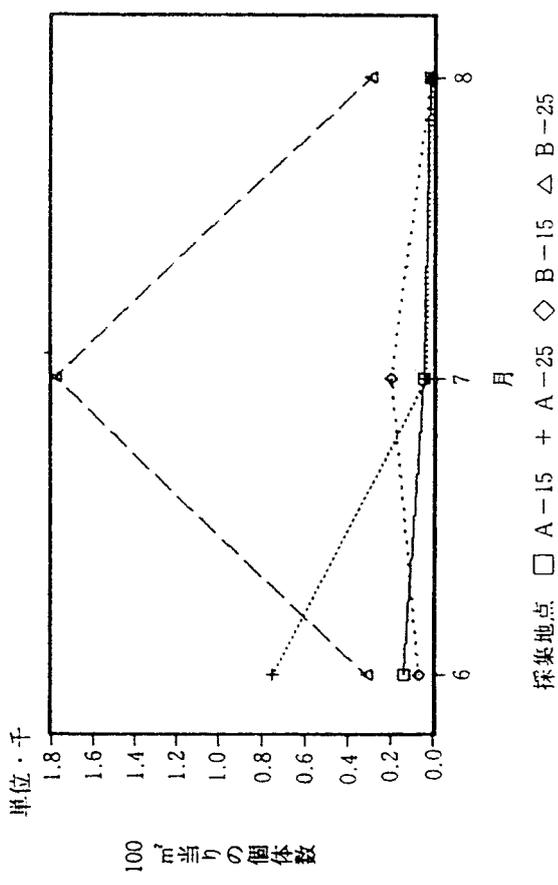
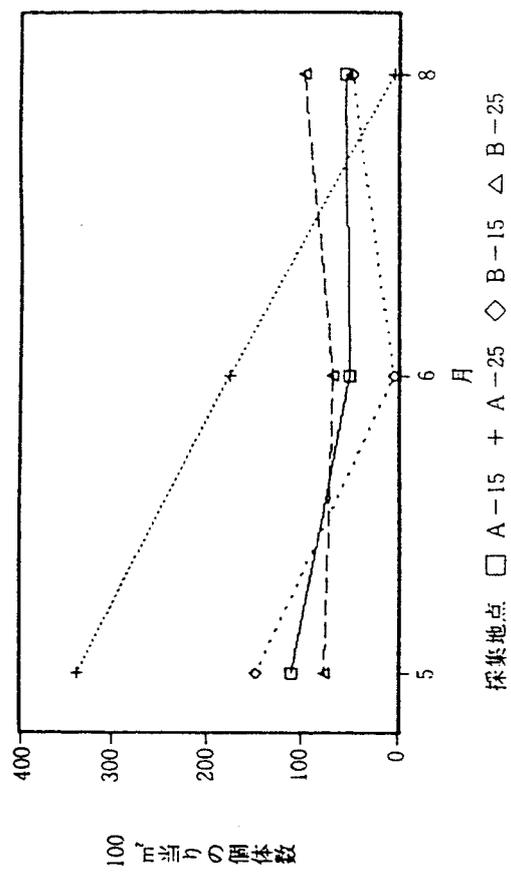


図8 十脚類の変動、上；1990年、下；1991年

は出来なかった。表4に経過，表5に結果を示したが，定量的な表現は困難であったので，出現状況をおおまかに多い，やや多い，少ない，の3つに分類した。それぞれの場所の主要出現魚種は，投石礁：カサゴ，メバル，キュウセン，調査地点A：マダイ型稚魚，ヒメジ類，異体類，ネズツポ類，未成魚育成礁：カサゴ，メバル，キュウセン，ウマヅラハギ，調査地点B：異体類，ネズツポ類であった。なおマダイ型というのは，映像だけではチダイとの区別が難しかったので，用いた表現であり，稚魚は調査地点Aでのみ観察された。時間帯としては夜間に多く，平坦な砂泥底の直上や小さな構造物の近くに余り動かずにじっとしているのが見られ，ROVがかなり接近しない限り逃げ去ることは無かった。またマダイ型 ≥ 1 才は調査地点A，未成魚育成礁で観察されたが，稚魚とは異なってROVの接近に敏感に反応して直ちに逃避行動に入ったので，映像では瞬間的にしか捉えられなかった。

表3 マダイ胃内容物の出現頻度と平均個体数（'90年6月27日）

		St. A (8尾)		餌料 (A-15)			餌料 (A-25)		
		頻度 (%)	個体数 (%)	個体数 (%)	選択指数	個体数 (%)	選択指数		
橈脚類	<i>Calanus sinicus</i>	6 (75.0)	3.3 4.7	156.7 48.5	-0.82	445.6 59.6	-0.86		
	<i>Paracalanus parvus</i>	4 (50.0)	1.6 2.3		1.00		1.00		
	<i>Euchaeta sp.</i>	6 (75.0)	1.3 1.8	20.0 6.2	-0.54	2.4 0.3	0.70		
	<i>Acartia omorii</i>	6 (75.0)	17.6 24.8		1.00		1.00		
	<i>Calanoida</i>	3 (37.5)	0.4 0.6		1.00		1.00		
ヨコヒレ類									
長尾類	ソノ17	1 (12.5)	0.3 0.4	38.3 11.8	-0.93		1.00		
十脚類									
甲殻類他									
尾索類	<i>Oikopleura sp.</i>	8 (100.0)	46.4 65.4		1.00		1.00		
海藻類									
不明									
計			70.9 100.0	323.3 100.0		747.6			

		St. B (50尾)		餌料 (B-15)			餌料 (B-25)		
		頻度 (%)	個体数 (%)	個体数 (%)	選択指数	個体数 (%)	選択指数		
橈脚類	<i>Calanus sinicus</i>	2 (3.9)	0.1 0.1	1.7 1.4	-0.81	4.0 5.0	-0.94		
	<i>Paracalanus parvus</i>	2 (3.9)	0.1 0.1	3.3 2.8	-0.90		1.00		
	<i>Euchaeta sp.</i>								
	<i>Acartia omorii</i>								
	<i>Calanoida</i>								
ヨコヒレ類									
長尾類	ソノ17	2 (3.9)	0.1 0.1	6.6 5.5	-0.95		1.00		
十脚類						67.2 83.2	-1.00		
甲殻類他							1.00		
尾索類	<i>Oikopleura sp.</i>	17 (33.3)	0.3 0.4		1.00		1.00		
海藻類		46 (90.2)	66.3 98.8	16.7 13.9	0.75		1.00		
不明		1 (2.0)							
計			67.1 100.0	120.0 100.0		80.0 100.0			

選択指数：イブプレフの選択指数 $(r_1 - p_1) / (r_1 + p_1)$ で計算される
 r_1 ；胃内容物中のある餌料の割合
 p_1 ；環境中のある餌料の割合

表4. ROV調査スケジュール表(1991年)

	7/4	7/5	7/6	7/7
午前		A、B 07:00-07:40 08:50-10:40	C 09:30-10:45	D 09:10-10:20
午後		A、B 13:40-14:40 15:30-16:30	C 13:00-13:10 15:00-16:00	D 13:00-14:10
夜間	B 19:00-20:00	A、B 19:00-20:00	C 19:00-21:30	

A: 投石礁 B: 中間域 C: 育成礁 D: 対照域

	8/28	8/29	8/31
午前		B 08:00-10:30	A 09:55-11:10
午後	B 14:10-15:00	A 13:00-14:20	A 13:10-13:40 14:45-16:10
夜間	B 20:00-21:00		A 19:00-20:20

A: 投石礁 B: 中間域

表5. ROV調査結果(1991年)

		7月			8月		
		午前	午後	夜間	午前	午後	夜間
投石礁	メバル カサゴ キュウセン ベラ類 スズメダイ ウマツラハギ カワハギ	○	○ ○ ○	● ○		○ ○ ○	○ ○
中間域	アナゴ類 マダイ型稚魚 ≥1才 ヒメジ類 トラギス類 ネズッポ類 異体類 フゲ類 ホウボウ	○ ○	○ ○ ○ ○ ◎	◎ ○ ◎ ○ ● ○	○	○ ○ ○ ○	○
育成礁	メバル カサゴ マダイ型≥1才 キュウセン ベラ類 イシダイ スズメダイ トラギス類 ネズッポ類 ウマツラハギ	◎ ◎ ◎ ○ ○ ◎	○ ○ ○ ○ ○	◎ ◎ ○ ○ ○ ◎			
対照域	ウミヘビ類 ネズッポ類 異体類	○ ◎ ◎	◎ ◎				

●: 多い ◎: やや多い ○: 少ない

考察

飼育実験より、孵化後約1カ月、体長9mm、積算温度にして約500℃頃から稚魚への移行と共に着底が始まるものと推定されたが、これは天然の調査で着底サイズが9~20mm程度と報告されているのとはほぼ一致している(表6)。また、孵化後33日以降、体長9.4mm以上は全て稚魚と判断できる。

マダイを始めとする底魚の幼稚魚は、埋在性ベントスを食べるものもいるが、多くは表在性の無脊椎動物やアミ類等の様な浮遊性底生生物を摂取している。しかしながら、これら表在性或は浮遊性ベントスは一般的に運動性が大きくて採集面積の小さな採泥器ではうまく採れないので、特製の採集器具が作製され、使用例も幾つか報告されている(東1983)。ここではNUSネットと呼ばれているそり型ネットを参考にして作製した採集器具を用いたが、採集された浮遊性底生生物とマダイ稚魚の胃内容物の組成とは明らかな相違が見られた。その原因として、先ずマダイ稚魚の餌料に対する選択性の違いが考えられる。すなわち尾虫類やAcartia omoriiをマダイ稚魚が非常に好んで、他の生物には目もくれずに摂取したとの解釈である。ところがマダイ稚魚の食性は表7に示した通り、各々の成育場の環境構造や餌料生物分布の特殊性に対応し、最も利用しやすい餌生物を幅広く摂食できると考えられている(落合・田中1986)事、尾虫類がマダイ稚魚の胃内容物の重要な部分を占めていたという報告は稀で、油谷湾でマダイ当歳魚の食性を調べた大森(1980)が、全長20-30mmでは橈脚類、尾虫類等の浮遊生物を主な食物としていると述べている程度である事等を考慮すると、尾虫類が特別に好物であるとは考えにくいし、Acartia omoriiの場合も同様であろう。それでは他にどのような原因が考えられるであろうか。前述の解釈には浮遊性底生生物の分布が一様であるか、でなければ少なくとも採集が平均的に行われたという前提が必要であるが、そうではない可能性が残されている。というのは尾虫類、Acartia omoriiがパッチを形成して偏った分布をしているかもしれないからである。特にAcartiaの仲間は湾奥部の砂底直上に濃密な群を形成して、着底期マダイ稚魚の重要な餌料となっていると報告されている(田中1980)。当水域は湾奥部と違って流れが速く、平坦な海底直上に尾虫類やAcartia omoriiがパッチ状で存在する可能性は小さいであろうが、藻や魚

表 6. マダイ着底場所およびサイズ (既往知見)

場所	着底 (棲息) 場所	着底サイズ	備考	著者
新潟 (寺泊地先)	水深20m以浅の砂質域およびアマモ場	全長10mm以上3の水深10mで1尾 桁虫網による最小個体は全長14mm	桁虫0.8~1.0ノット 15~20分現 夏期の成長 $L=0.956D+2.83$	山吹・坂野 (1975)
長崎 (五島)	内湾あるいは外海の湾入地形を呈する 水域で渦流域が形成される陸岸寄りの 浅海	尾又長12~18mm	20~40mmの稚魚は中砂質で水深 3~15mの陸岸域に生息	立石 (1975)
瀬戸内海 (広島)	砂れき質、礫場などを有する変化に富んだ 10~20mの浅所	全長 8.5mm 以降		猪子 (1978)
山口 (油谷湾)	中砂~極細砂域、水深は10m以浅でし かも藻場の比較的発達している場所の 周辺の水深5m前後		底生生活期のマダイは約1.0mm/日 の成長率を示す 平均全長30mmを越えると、底生 活に移行したと考えられる。	花瀬 (1980)
山口 (油谷湾)	アマモ場周辺の浅所	全長15mm前後、底層付近に分布する 最小全長は12mm	全長30~40mmで完全に底生活 にはいる。	森 (1980)
広島 (百島)	粗放的実験池 (2m水深)	全長15~25mm定着 全長15~23mm昼間網でとれ燈光に 集まる。全長25mm以上昼間網でと れるが、灯光に集まらない。	日成長1.05mm	三村他 (1984)
広島 (百島)	粗放的実験池 (2m水深)	着底の最小サイズは体長10.5mm	体長30mm~32mmまでは夜間灯火 に集まる。体長約30mm以上は底生 生活に移る。	Fukuhara (1985)
島根 (大社、江津神)	水深5~20mの砂浜域	体長9~12mmが着底 最小サイズ		前川 (1986)

表 7. マダイ稚魚の食性 (既往知見)

場所	大きさ	食性	著者
細の州 (広島)	全長 25 - 55mm	ヨコエビ類 橈脚類	今林他 (1975)
油谷湾 (山口)	全長 20 - 30mm	橈脚類 尾虫類	大森 (1980)
志々伎湾 (長崎)	全長 20 - 40mm	橈脚類 ヨコエビ類	木曾 (1980)
新宮地区 (福岡)	全長 20 - 40mm	アミ類 橈脚類	大内 (1986)
東淡地区 (兵庫)	全長 34 - 45mm	尾虫類 橈脚類	本調査 (1990)

礁などの構造物の陰に形成される滞留域に集合していて、そり型ネットでは採集出来なかった可能性が考えられる。従って、これら生物の分布、消長、餌料価値等については今後更に検討する必要がある。また、種間競合関係に関しては、今回の生態観察からは特には見られなかったが、この点も、今後に残された課題であろう。

文献

- 東 幹夫, 1983: NUS ネットの使用法と採集効率の推定. 西海ブロック魚類研究会報, 1, 93-100.
- 福原 修, 1975: 海産魚における種苗生産の現状と2, 3の問題点. 南西水研増殖部資料, 1-19.
- 見元孝一・通山正弘・堀川博史・坂本久雄, 1991: 高知沖人工礁漁場における水中テレビロボによる観察結果-蜻集魚の昼夜の生活の一端. 南西海ブロック第9回魚礁研究会報告, 51-57.
- 落合 明・田中 克, 1986: マダイ. 魚類学(下), 初版, 恒星社厚生閣, 東京, 736-750.
- 大森迪夫, 1980: 油谷湾におけるマダイ当歳魚の食性. 西水研研報, 54, 93-109.
- 田中 克, 1980: マダイ稚魚の浮遊生活から底生生活への移行過程. 水産土木, 16(1), 47-57.