

マダイ稚魚着底場造成技術の検討

西海区水産研究所 木元克則¹⁾・中嶋純子・
吉村拓²⁾・森岡泰啓²⁾・古賀文洋

緒言

底魚であるマダイはその稚魚初期において生理・形態ともに大幅に変化させ、浮遊生活から底生生活へ移行する。この着底期に好適な餌料が利用できる状態で存在するか否かが、マダイ稚魚の生き残りや成長に大きく作用するものと考えられる。この着底期マダイはもっぱらある種の浮遊性かいあし類を摂食していること、そしてそれらの餌料生物は日中海底直上層の局所に濃密に成群する性質をもつことが知られている。しかしながら、着底直後のマダイ稚魚の摂餌行動や生息環境については不明な点が多い。

本調査は、マダイ稚魚の成育場造成の指針を得ることを目的として、マダイ稚魚の遊泳や摂餌の行動と餌料生物の濃密成群（スーム）との関連を海洋現場での詳細な観察と室内での実験に基づいて明らかにすることによって、成育場が備えるべき条件を抽出しようとするものである。

I. 長崎半島地先における着底直後のマダイ稚魚を対象とした潜水調査結果

【調査方法】

1990年5月23日から6月12日の間の4日、および1991年5月23日から6月11日の間の5日間に、長崎半島西岸の水深約5～10mの6地点において（図1）、スキューバ潜水による目視観察を行った。調査はいずれも2名のダイバーによって行い、まずマダイ稚魚の探索を行った上で、発見次第周辺環境や摂餌・遊泳行動を記録した。これらのマダイは図2のネ

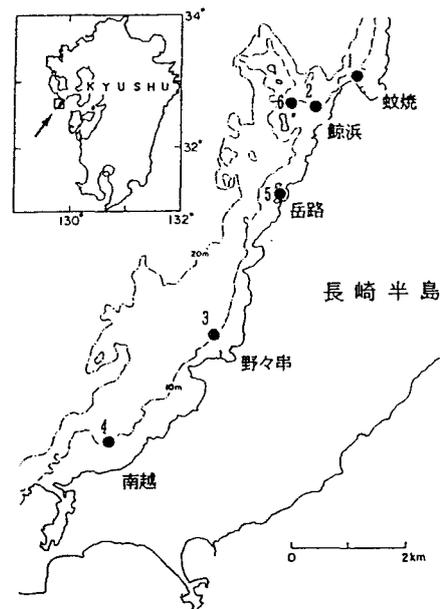


図1. 1990年及び1991年の5～6月に長崎半島において実施したマダイ稚魚潜水調査の調査地点

1) 現所属 水産工学研究所 水産土木工学部

2) 現所属 水産庁 研究課

ットに追い込んで採集し、実験室において胃内容物を観察した。また、マダイが生息していた場所近くにスオームが認められた場合は、これを注射器型の吸引採水器によって海水とともに採集し、またスオームが見られない場合も、生息場所周辺の海水を同注射器によって3~6回採水し、出現するプランクトンの種組成を調べた。

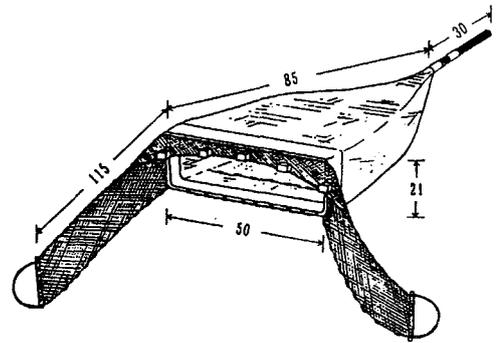


図2. 着底直後のマダイ採集に用いたネット
(図中の数字の単位はcm)

1991年の5月24日には、マダイ稚魚の分布密度の調査のため、ライントランセクト法による観察を行った。ラインは、30mのロープ2本を調査地点1の水深6mから10mに落ちる緩やかな斜面に設置したもので、1名のダイバーがこれに沿ってゆっくりと進みながら目視観察を行った。

【調査結果】

1. マダイ稚魚の出現状況

1990年の調査では、40個体のマダイ稚魚（目視による全長約15~40mm）を観察し、内5個体（FL13~17mm）を採集した。1991年では、149個体の稚魚を観察し、内85個体（FL13~43mm）を採集した（図3）。両年における採集記録を表1に示すが、マダイ稚魚が観察されたのは、図1の地点1（蚊焼）と3（野々串）のみであった。探索時間1時間当りに換算したマダイ稚魚発見数を見ると、90年の2.8に比べて91年は19.8と約7倍の値を示した。

1991年5月24日の地点1でのライントランセクト法による観察結果では、水平距離60mの範囲内で計43個体のマダイ稚魚が観察された。このうち、13個体は単独で、10個体はそれぞれ2個体ずつ一

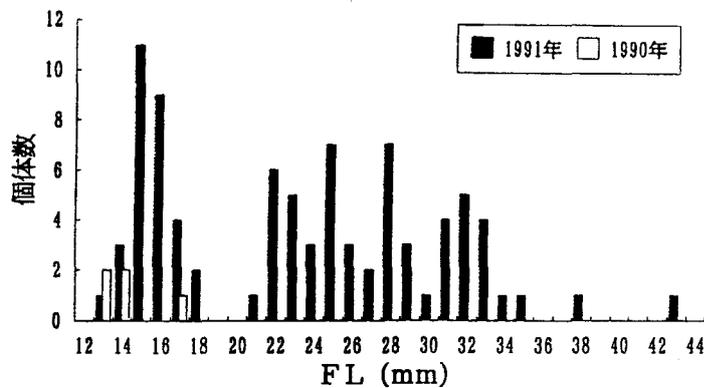


図3. 1990年および1991年の調査によって採集されたマダイ稚魚の体長(尾叉長)組成

緒に行動していたものである。残りのものは、12個体と8個体がそれぞれほぼ同じ場所で観察されたものの、1つの群れとして行動していたのか否かは確認できなかった。稚魚を目視で発見できる距離は、ラインの両側およそ1mずつであったことから、マダイ稚魚の生息密度は約0.36個体/m²となる。

表1. マダイ稚魚を対象とした潜水観察の結果

調査月日	調査地	マダイ採獲数	マダイ観察数	スーム	水深(m)	流速(cm/s)	水温(℃)	底質	探索時間(分)	1時間当たりマダイ観察数
1990年										
5/23	3	2	23	absent	11-14	3.1-3.3	-	sand	188	7.4
5/31	1	1	4	present	9-13	0.7-0.8	-	muddy sand	235	1.0
6/06	4	0	0	present	10-12	-	-	sand, boulder	77	0.0
	3	1	7	absent	12-13	ca. 2	-	sand	93	4.5
	2	0	0	present	8-11	-	-	sand	31	0.0
	1	0	2	present	10	ca. 1	-	muddy sand	58	2.1
6/12	2	0	0	present	7-9	-	-	sand	80	0.0
	1	1	4	present	9	-	-	muddy sand	86	2.8
Total		6	40						844	2.8
1991年										
5/23	2	0	0	absent	3-4	-	19.4	sand	10	0.0
	1	27	27	present	8-10	ca. 2	18.8	muddy sand	54	30.0
	5	0	0	present	5-8	-	19.0	sand	19	0.0
	6	0	0	present	5-8	-	-	sand, boulder	20	0.0
5/24	1	14	57	present	8-11	-	19.0	muddy sand	102	33.5
5/30	3	9	29	present	8-11	3.0-3.3	18.7	sand	90	18.3
5/31	3	22	22	present	10-11	-	19.4	sand	79	16.7
6/11	1	13	14	present	7-11	ca. 1	21.0	muddy sand	78	10.8
Total		65	149						452	19.8

2. 生息環境

マダイ稚魚が観察された調査地1は小さな湾入部に位置し、流れがほとんどなく底質も泥混じりの砂であった。また調査地3は外洋に面したやや開放的な場所であり、若干

表2. 1991年5月の調査地1における環境タイプ別マダイ稚魚観察数およびマダイ微細生息地であるくぼみ等の平均サイズ

生息環境	マダイ		くぼみ等の平均サイズ	
	個体数	%	直径(cm)	深さ(高さ)(cm)
1:平坦な砂地	1	1.9		
2:微小な凹凸のある砂地	10	18.9		
3:砂地のくぼみ	15	28.3	16.8	9.3
4:海藻片のある砂地のくぼみ	3	5.7		
5:砂地の凸部周辺	1	1.9	13.0	5.0
6:海藻の周辺	23	43.4	19.0	10.3
合計	53	100.0		

の流れがあり底質は砂であった。マダイ稚魚は、これらの砂地または砂泥地の水深約6~11mの海底直上附近において発見された。稚魚が生息していた場所は、海底に存在する大小さまざまな凹凸やくぼみ、あるいは海藻の小さな群落や寄り藻の周辺であった(写真1~4)。

生息していた場所の環境を、その特徴によって6タイプに大別し、各タイプごとの生息例を示したものが表2である。記録を取った53個体の内、砂地上の海藻周辺で発見されたものが43.4%で最も多く、砂地のくぼみにおけるものが28.3%でこれに次いだ。これらの海藻は、砂地に生息する種および寄り藻の両者であり、前者ではクロミル、ナガミル、後者ではアカモク、ヤツマタモク、フタエモク、フサノリ、トサカノリ、マクサなどであった。ただし、海藻周辺で観察された稚魚は、やや大きい個体が複数で生息している場合が多く、着底



写真1. 砂地に自生するミルの周辺部に生息するマダイ稚魚 (1991年5月、調査地3、水深約10m)

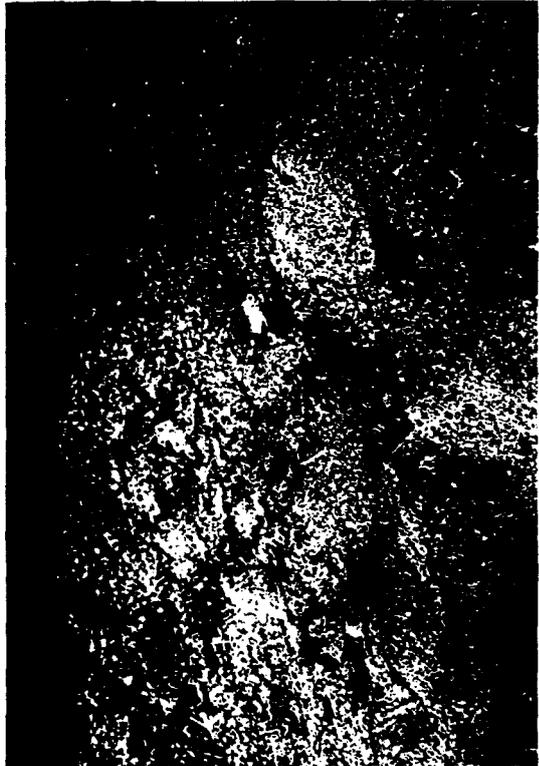


写真2. 微小な凹凸のある砂地に生息するマダイ稚魚 (1991年5月、調査地1、水深約10m)



写真3. 海藻片のあるくぼみに生息するマダイ稚魚 (1991年5月、調査地3、水深約10m)



写真4. 砂地のくぼみ周辺に生息するマダイ稚魚 (1991年5月、調査地3、水深約9m)

直後と思われる体長十数mmのものは、砂地のくぼみか、くぼみの中に寄り藻のある場所に単独で生息することが多かった。後者の場合、ダイバーが近づくと海藻の裏に回る行動を示したことから、寄り藻が隠れ場所としての機能を果たしているものと推測された。このくぼみの平均直径は16.8cm、深さは9.3cmで、寄り藻が落ちているものもほぼ同程度であった。海藻自体を水中での自然な状態で計測した結果では、藻体の幅が平均19cm、高さが10cmであった。

3. 遊泳・摂餌行動

マダイ稚魚のうち、FLおよそ20mm以下の小型魚は海底から5cm程度、20mm以上の中型のものは海底から約10cmの範囲内で観察された。また、約40mm以上の大きいものでは、一時的に海底から数mほど上がる行動も見られた。くぼみに生息する小型の稚魚は、ダイバーが近づくとつれくぼみから離れたが、ダイバーが遠ざかると再び同じくぼみへ戻ることが多かった。これに対して大型のものは、戻ることなく別の場所へ移動した。稚魚の遊泳は20~30cm、あるいは40~50cmを1単位として直線的に進行し、瞬間的な停止の後、場合によっては僅かに進路を変更し、遊泳を再開した。やや大型の個体ではヒメジ類やハゼ類の後を追尾する例が観察された。

1990年には、くぼみ周辺部にかいあし類スオームの形成されている場合が見られ、スオームの内部で潮の上流に向かって定位する稚魚が観察された。ただし、マダイ稚魚の摂餌行動を確認することはできなかった。1991年の調査ではスオームはあまり見られず、海底附近一面にかいあし類が比較的高い密度で分布している状態であったが、かいあし類を捕食する様子を確認することはやはりできなかった。やや大型の稚魚では、海底に口で水を吹き掛けることによって舞上がったものをつついていたり、海底表面にいたワレカラ類をつついて捕食した例が小数ながら観察された。

4. 胃内容物および餌料環境

1990年の地点1ではスオームが観察され、海水中のプランクトン組成(表3)でも

表3. 1990年5月の調査地1におけるスオームプランクトンの個体数組成(海水1ℓ当たり)

採集月日(1990年)	5/31	5/31	6/12	6/12
採集場所	1	1	1	1
かいあし類				
Pseudodiaptomus sp.		1		
Acartia omorii 成体		1	237	28
Acartia omorii 未成体	40	4	423	49
Oithona sp.	57	8	33	105
ハルバクテクス類		1		
ノープリウス	3	1		
小計	100	22	693	182
あみ類			1	16
合計	100	22	708	182

693個体/ℓ の高密度でかいあし類が出現している場合が見られた。1991年の地点1では海底附近一面に比較的高い密度でかいあし類が分布していたものの、スオームは見られず、

海水中のプランクトン組成(表4)も12~102個体/ℓとやや低い値であった。また、調査地3ではスオームはほとんど見られず、1991年の採水結果では8~27個体/ℓと低い値であった。

マダイ稚魚の胃内容物組成を表5、6および図4に示す。個体数で見た場合、1990年では調査地1と3ともにかいあし類が主要な部分を占め、かいあし類のうち前者ではキクロプス目が多いのに対して、後者ではハルバクテクス目が大部分を占めるという差が認められる。1991年では、調査地1においてはかいあし類が大部分を占めているが、カ

表4. 1991年の調査地1と3におけるマダイ稚魚生息場所周辺におけるプランクトン組成(海水1ℓ当たり)

採集月日(1991年)	5/24	5/24	5/24	5/24	5/24	5/11	5/11	5/11	5/11	5/30	5/30	5/30	5/30
採集場所	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3
かいあし類													
カラヌス目													
Acartia sp.	13.6	7.0	82.9	41.3	69.6	15.7	37.3	1.2	29.3	0.7	0.3	1.3	
Paracalanus sp.	0.3		0.3	0.3	0.3	0.5			1.0	1.0	1.3		
Pseudodiaptomus sarsiinus									0.1	0.7		0.4	
Corycaeus sp.						0.2					0.5		
Microsetella sp.						0.2	0.3	0.3	0.4	0.3			
キクロプス目													
Oithona sp.	0.9	0.9	2.6	5.1	2.2			20.5	7.6	38.9	1.0	1.3	1.5
Ocaea sp.	0.3	1.6	2.6	0.3	1.3			0.6	0.4		1.0		1.7
ハルバクテクス目	0.5	0.3	1.3	5.1	4.1	1.1	0.4	1.0	1.7	2.6	0.4	0.9	0.9
ノープリウス目	6.2	2.2	1.0	4.9	1.6	13.6	22.9	19.5	17.9	20.0	4.7	3.3	6.1
小計	22.0	12.0	90.7	56.8	79.1	31.2	101.5	30.1	90.1	27.2	8.6	7.6	8.6
有脚毛虫類	48.3	24.1	22.5	21.0	19.3	185.8	70.5	158.9	166.5	6.6	3.6	1.7	4.3
くま類													
二枚貝類ベリジャー幼生		0.6		1.0	1.9	2.7	1.3	4.7	3.1		0.8		0.8
巻貝類ベリジャー幼生	0.3		0.7			0.6					0.3	0.8	
有孔虫類	3.7	1.5	5.2		0.9	2.3	1.0	6.3	6.7	0.3	0.3		0.9
多毛類				0.3			0.1	0.4	0.3			0.4	
合計	74.3	38.3	119.1	79.0	101.3	222.6	174.6	200.3	266.6	34.1	13.5	10.6	15.2

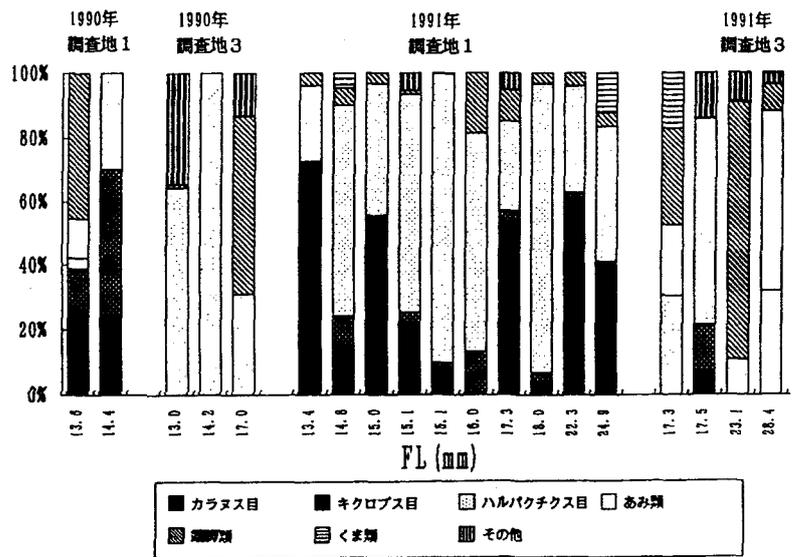


図4. 調査地点および調査年別に見たマダイ稚魚の胃内容物重量(乾燥重量)の組成

表5. 1990年5~6月に調査地1と3において採集されたマダイ稚魚の胃内容物組成

採集日(1990年)	5/31	6/12	5/23	6/6	5/23
採集地点	1	1	3	3	3
マダイFL(mm)	13.6	14.4	13.0	14.2	17.0
マダイ体乾重量(μg)**	6.6	8.6	5.4	6.8	16.0
	n	dw	n	dw	n
かいあし類					
カラヌス目					
Acartia 成体	6	58.8	3	29.4	
Acartia 未成体				1	0.3
キクロプス目					
Oithona	80	29.6	143	55.1	
ハルバクテクス目	1	7.0	3	36.0*	32
あみ類	1	28.0			384.0*
有脚毛虫類					26
よこえび類	3	104.0			312.0*
わけから類				1	7.0
二枚貝類				1	207.0
同定不能類					1
合計	91	220.4*	155	120.5	35
胃内容物重量/体乾重量比(%)		3.3*		1.4	
n: 個体数 dw: 乾燥重量(μg)					
*: 1個体の乾重量を17μgとした **: マダイ稚魚の乾重量を体重量の1/3とした					
					26
					312.0*
					99
					3493.

ラス目とハルパクチクス目が多い。これに対して調査地3ではハルパクチクス目が卓越しているものの、重量では端脚類やあみ類が卓越している個体も見られる。なおハルパクチクス目については複数種が出現したが、ほとんどのものが表在性の種であった。海水中における出現数が最も多かった有鐘織毛虫類は、胃内容物中からは出現しなかった。

表6. 1991年5～6月に調査地1と3において採集されたマダイ稚魚の胃内容物組成

採集日(1991年)	5/23		5/23		5/24		5/23		5/24		5/23		5/23		5/23		5/30		5/30		5/30		5/30						
採集地点	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3						
マダイF.L.(mm)	13.4	14.8	15.1	15.1	16.0	17.3	18.0	22.3	24.9	17.3	17.5	23.1	28.4	33.5	5.0	7.0	7.3	9.3	9.7	11.3	14.6	27.1	39.4	11.4	11.3	29.4	64.1	121.2	
マダイ体乾重量(mg)	5.0	7.0	7.3	9.3	9.7	11.3	14.6	27.1	39.4	11.4	11.3	29.4	64.1	121.2															
	n	dw	n	dw	n	dw	n	dw	n	dw	n	dw	n	dw	n	dw	n	dw	n	dw	n	dw	n	dw	n	dw	n	dw	
かいあし類																													
カラヌス目																													
Acartia sp.	23	184			30	240							55	440															
Paracalanus sp.	1	9	22	191	2	17			1	9	59	503	20	173	1	9	1	9											
Pseudodiaptomus marinus				4	324					5	406		24	1947	3	243			5	30							4	80	
キクロプス目																													
Oithona sp.			2	118	1	59	1	59	3	177	1	59	2	118	1	59									1	59			
ハルパクチクス目																													
	19	63	7	840	9	1080	23	2760	8	960	4	480	33	3960	9	1080	6	720	2	70	97	265	4	80	40	267	16	53	
あみ類																													
端脚類																													
フレカラ壺目	1	10	1	20	1	20			4	213	3	107	2	90	2	90			1	50						1	470	2	20
くま類																													
等脚類			1	60			2	10																					
ウミミズムシ																													
ふじつば類キブリス幼生				3	90					2	60																		
貝類ベリジャー幼生																													
多毛類										1	30																1	30	
合計	44	266	34	1279	20	1591	56	3069	17	1409	75	1704	61	4401	38	3224	69	1697	6	230	104	414	19	750	44	838	24	193	
胃内容物重量/体乾重量(%)	5.3	18.2	21.9	33.1	14.6	15.0	30.1	11.9	4.3	2.0	3.7	2.6	1.3	0.2															
n: 個体数		dw: 乾燥重量(μg)																											

II. 止水と流水条件下におけるマダイ稚魚のかいあし類捕食量の実験的検討

【調査方法】

無色透明のアクリライト樹脂板を加工して回流水槽（水路内幅18.4cm、水路内高29.2cm、全水路長475cm、直線部水路長134cm）（図5）

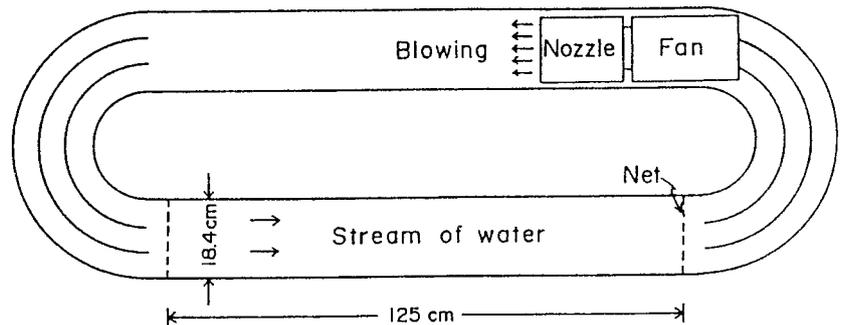


図5. 小型回流水槽の模式図

を作成した。その一部を、網目幅4mmのナイロン網で仕切り、実験水路（長さ125cm）とした。水路に海水を20cmの深さに入れ、直線部水路の一端の上に置いたシロッコファンから風を送り、吹送流により水を回流させた。ファンは可変抵抗器を介して風量を調節できるようにした。

かいあし類は天然では海底の岩、海藻などの潮陰に濃密に群れているが、マダイ稚魚がこれらを捕食し易いのか否かを検討することを目的とし、マダイ稚魚のかいあし類に対する捕食行動と捕食速度を止水と流水条件下で調べた。実験は1989年と1990年の2ヶ年に行った。いずれの実験に用いたマダイ稚仔は長崎県水産試験場増養殖研究所にて自然産出された卵を同所にて通常の方法によって飼育されたものである。1989年はふ化後36日から57日までのマダイ稚魚を、1990年にはふ化後33日から42日までのマダイ稚魚を実験に供した。なお、捕食実験には全て野外から採集した浮遊性かいあし類 *Acartia steueri* SMIRNOV の成体を選別して用いた。

流水条件におけるマダイ稚魚のかいあし類捕食実験には回流水槽（実験水路46ℓ）を用いた。止水条件には、アクリライト製角型水槽（10ℓ容量）を用いた。かいあし類の密度は10、20、50、100個体/ℓとし、空腹状態のマダイ稚魚10個体を各水槽に收容した。個々の実験時間はマダイがかいあし類に接近して捕食行動を開始した時から10分間とした。実験終了後、全ての稚魚を捕獲し、ホルマリンで固定して保存した。体長測定した後の稚魚を実体顕微鏡下で解剖し、その全消化管内のかいあし類個体数を計数して摂餌個体数を得た。

【調査結果】

1. マダイ稚仔の成長

1989年と1990年に実験に供したマダイ仔稚魚のふ化後日数と標準体長をそれぞれ、図6に示した。これらのマダイ仔稚魚の形態変化を福原（1984）にしたがって観察すると、1989年はふ化後30日に平均体長8.2 mmとなり、これ以降のものは全て稚魚であった。これに対して1990年は、ふ化後34日、平均体長7.2 mmでようやく全て稚魚に変態し、稚魚へ変態するのに多くの日数を要し、かつ変態時の体長が小さかった。

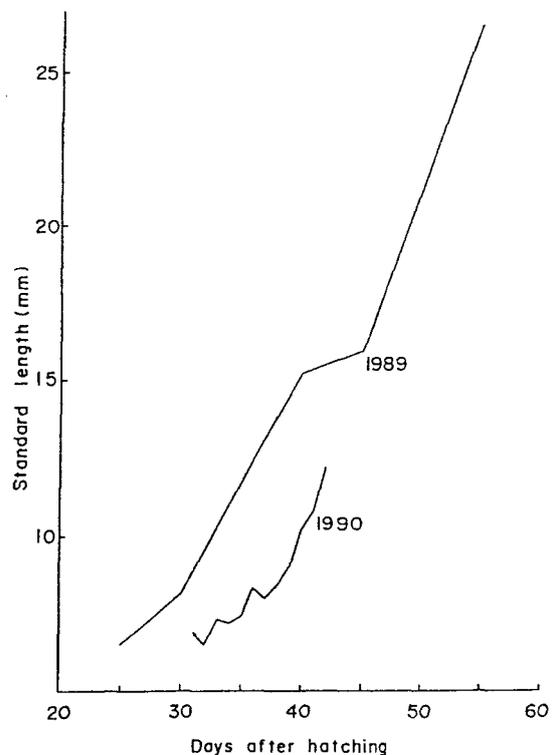


図6. 供試したマダイ稚魚の成長

標準体長と尾叉長（ただし、尾叉が明瞭になるまでは全長）には直線的な関係があり、1989年に実験に供した稚魚から

$$FL = 1.251 + 1.233 SL$$

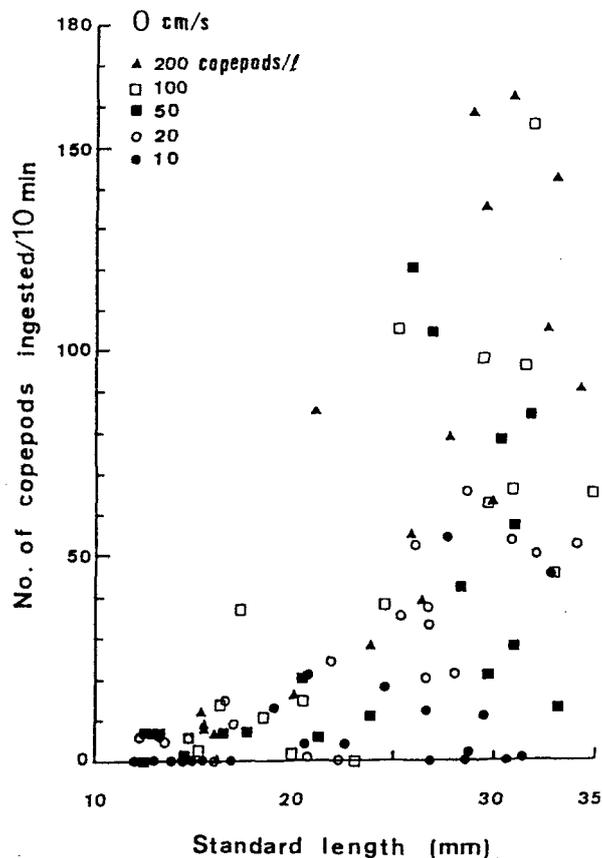
の関係式が得られ、体重等の推算に用いた。

2. マダイによるかいあし類の捕食

2.1 1989年における実験結果

2.1.1 止水におけるマダイの捕食

止水におけるマダイ稚魚は、捕食行動を開始した後は水槽全体を泳ぎ回ってかいあし類 *A. steueri* を捕食する行動をみせたが、あまりうまく捕食できなかった。すなわち、マダイ稚魚がかいあし類を捕食しようと飛びかかると、かいあし類は上下左右に跳ぶように遊泳して逃げるのが観察された。この様子は他の捕食実験を通じても観察された。ふ化後36～57日の間に繰り返して行った実験結果から、マダイ稚魚が、異なるかいあし類密度の止水において10分間に捕食したかいあし類個体数を合わせて図7に示した。かいあし類密度が10個体/ℓでは、体長17mm未満の全てのマダイはかいあし類を捕食できなかった。また体長17mm以上の稚魚も多くを捕食できず、かいあし類捕食数は20個体以下のものが多数を占めた。かいあし類密度が20個体/ℓから100個体/ℓでは、個体によるばらつきがあるものの、体長が大きくなるに従ってかいあし類捕食数が増加し、か



いあし類密度が高くなればその捕食数も増加した。しかし、天然でのかいあし類スオームの密度と同程度の100個体/ℓの密度にかいあし類を与えた時でも、止水では体長15mmのマダイは10分間に約10個体、20mmでは約20個体、25mmでも最高38個体しか捕食できなかった。かいあし類密度が200個体/ℓでの稚魚の捕食量は100個体/ℓと同程度であった。体長25mmを越えると止水でのかいあし類捕食量は著しく増加し、100個体を越えた。

2.1.2 流水におけるマダイの摂餌

上述の回流水路に黒色箱を置いてかいあし類 *A.steueri* を入れると、それらは水路全体に分布しながらも、箱の下流側の後流域に滞留し、密度を高くして分布した。この状態において、マダイ稚魚（体長10～35mm）を入れてその捕食行動を観察した。その結果、マダイはかいあし類の群れの中には必ずしも常に入らずに、水路の底面近くで流れの上流に向かって定位して遊泳し、流れとともに移動するかいあし類を捕食するのが観られた。

マダイ稚魚は止水ではかいあし類を捕食しようとしても四方八方に逃げられることが多いのに対して、流水では流下するかいあし類を下流側からねらい定めてうまく捕食した。マダイ稚魚が流れの中を流下するかいあし類を捕食しようとする、かいあし類は飛び跳ねるような遊泳（1～2cmの遊泳を1秒あたり2～3回）をして逃避した。しかし、かいあし類が流れに対して遡るように一方向に逃げることが多いため何回か逃げようとするうちにマダイに捕食されるのが通常であった。この結果、同じ餌料密度でありながら、流水での捕食量は止水の数倍にも増加するようであった。

成長にともなって繰り返して行った流水条件の捕食実験の結果をその前後に行った止水条件の捕食実験の結果と対比した。

図8中、右にふ化後46～47日（標準体長15～25mm）の流水での捕食量を示した。流水での捕食量は止水（図8左：ふ化後36～52日）での捕食量より著しく多かった。流速2cm/sの流水では体長15mmの稚魚はかいあし類密度が100個体/ℓの時、最高が約30個体、20mmでも約100個体であった。流速2cm/sでは、かいあし類密度が100個体/ℓの時の捕食量は20個体/ℓの時のおよそ2倍に増加した。これに対して、流速4cm/sでは10～20個体/ℓの低いかいあし類密度での捕食量は流速2cm/sの時と同程度であったが、50個体/ℓ以上の密度では

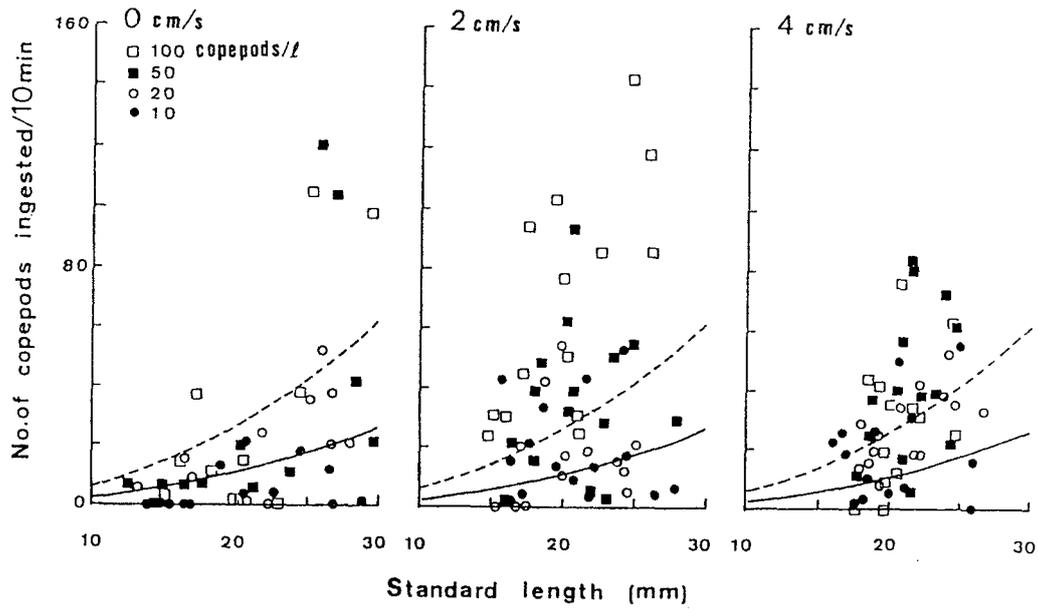


図8. 流速の異なる水槽で、異なる餌料密度において、マダイ稚魚が10分間に捕食したかいあし類の個体数と見積られた必要捕食量。1989年
 左：ふ化後41 - 52日のマダイ稚魚の角型水槽の止水における捕食量
 中、右：ふ化後46 - 47日のマダイ稚魚の回流水路の流水における捕食量
 実線と破線はそれぞれTanakaら(1987)に従って求めた標準代謝量を得るに必要な10分間の捕食量と成長を含めて必要な捕食量の推定値

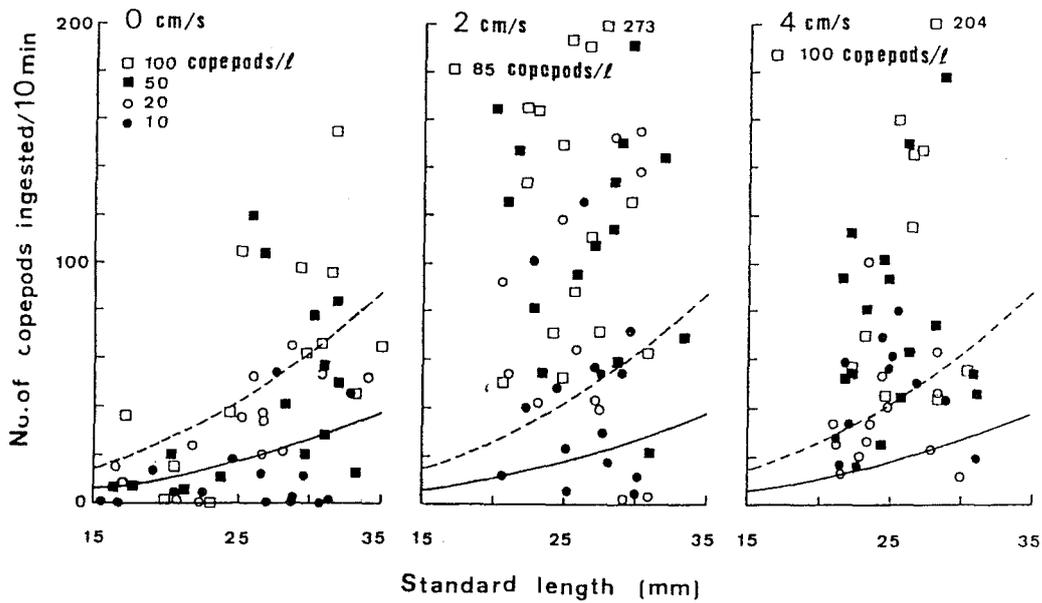


図9. 流速の異なる水槽で、異なる餌料密度において、マダイ稚魚が10分間に捕食したかいあし類の個体数と見積られた必要捕食量。1989年
 左：ふ化後46 - 57日のマダイ稚魚の角型水槽の止水における捕食量
 中、右：ふ化後51 - 52日のマダイ稚魚の回流水路の流水における捕食量
 実線と破線はそれぞれTanakaら(1987)に従って求めた標準代謝量を得るに必要な10分間の捕食量と成長を含めて必要な捕食量の推定値

2 cm/sの捕食量より少なくなり、餌料密度が高くなるとかえって捕食量が減少した。

図9中、右にはふ化後51～52日（体長20～30mm）の流水での捕食量を示した。流水での捕食量はそれ以前と同じく止水（図9左：ふ化後46～57日）の捕食量よりも多く、各餌料密度ともに2 cm/sの流水で最も多かった。

2.2 1990年における実験結果

2.2.1 止水におけるマダイの捕食

1990年の実験では、マダイ稚魚は1989年に比較して、仔魚から稚魚への変態に要する日数が4日長く、かつ同一ふ化後日数における稚魚の体長は明らかに小さかった（図6）。

1990年の実験においては、体長6～15mmの稚魚の止水における捕食量が0となることは無く（図10左）、かいあし類密度が10個体/lでは、捕食量は2～18個体であった。かいあし類密度が高くなるにしたがって捕食量も増加し、100個体/lのかいあし類密度では、体長14mmのマダイの捕食量は53個体を数えた。

2.2.2 流水におけるマダイの摂餌

1990年の実験においても1989年の実験と同様に、流水におけるマダイ稚魚のかいあし類捕食量は止水の捕食量より多かった。流水では流れに対向しながらも上流より流されてくるかいあし類を、マダイ稚魚が下流側から待ち受けて、あるいは流れとともにマダイも下流へ移動しながら、横からねらいを定めて捕食するのが観察された。

ふ化後33日と34日（図10）に行った流水における捕食実験では、マダイ稚魚の流速2 cm/sと4 cm/sにおける捕食量はほぼ同じであった。しかし、ふ化後40日と41日に行った実験では4 cm/sにおける捕食量が2 cm/sのそれをやや上回る結果を得た（図11）。

【考 察】

着底したマダイ稚魚は、体長約30mmまではある種の浮遊性かいあし類を主に捕食し、着底初期ほどこの傾向の著しいことが知られている（Tanakaら 1987）。今回採集された稚魚の胃内容物分析からもやはり同様の傾向が認められた。このことは1990年、1991年ともに特に調査地1において顕著であり、カラヌス目

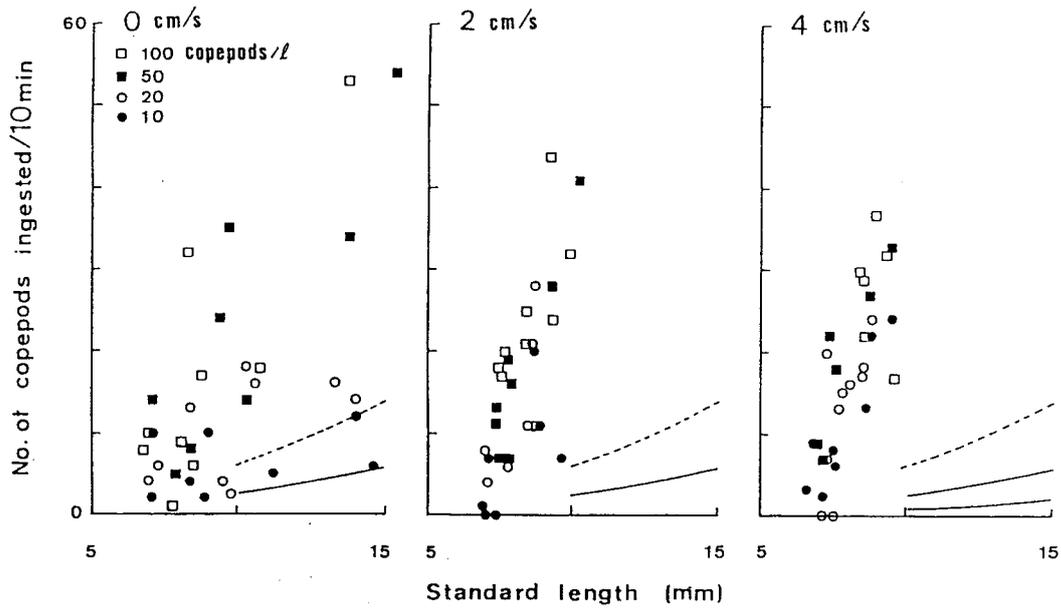


図10. 流速の異なる水槽で、異なる餌料密度において、マダイ稚魚が10分間に捕食したかいあし類の個体数。1990年
 左：ふ化後35 - 42日のマダイ稚魚の角型水槽の止水における捕食量
 中、右：ふ化後33 - 34日のマダイ稚魚の回流水路の流水における捕食量
 実線と破線はそれぞれTanakaら(1987)に従って求めた標準代謝量を得るに必要な10分間の捕食量と成長を含めて必要な捕食量の推定値

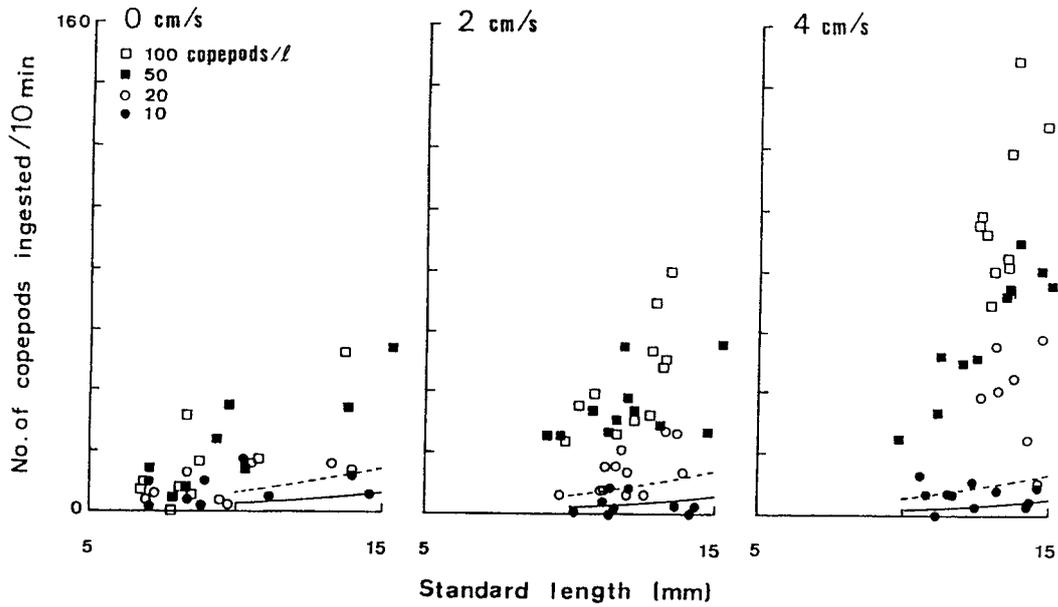


図11. 流速の異なる水槽で、異なる餌料密度において、マダイ稚魚が10分間に捕食したかいあし類の個体数。1990年。
 左：ふ化後35 - 42日のマダイ稚魚の角型水槽の止水における捕食量
 中、右：ふ化後40 - 41日のマダイ稚魚の回流水路の流水における捕食量
 実線と破線はそれぞれTanakaら(1987)に従って求めた標準代謝量を得るに必要な10分間の捕食量と成長を含めて必要な捕食量の推定値

およびキクロプス目の浮遊性種が多数出現した。この調査地1においては、かいあし類はスオームを形成したり、海底直上附近一面に高密度で分布していたが、採水試料中から出現した主要な浮遊性かいあし類と胃内容物がよく一致した。従ってこれらの高密度なかいあし類の分布は、稚魚が効率よい捕食を行う上で重要であるものと考えられる。これに対して、調査地3ではこの2つの目のかいあし類がほとんど出現せず、表在性のハルバクチクス類や端脚類が多く出現した。調査地3ではかいあし類スオームがあまり観察されなかったことから、これらはスオーム形成のない場所においては、餌をスオーム形成種に依存することなく、底生性の種に求めている場合があることを示す例と考えられる。しかしながら、1991年の場合、体重当たりの胃内容物重量比を調査地1と3と比較すると、前者(4.3~33.1%)は後者(0.2~3.7%)よりかなり高く、このことはかいあし類が高密度で存在する場所の方が効率的に捕食できることを示唆する。

着底直後のマダイ稚魚が生息する場所としては、水深2~3mのアマモ場(田中他、1978)や水深10m以浅の藻場周辺の砂地(花淵、1980)などが知られている。しかしながら、それらの環境中における微細生息場所についての報告例は少なく、三村他(1984)が粗放的育成池において観察した池底のくぼみや小石・木片の陰などがわずかに知られていた。今回、天然水域において着底直後の稚魚の目視観察に成功したことに伴い、微細生息環境並びに行動の記録を行うことができた。稚魚の大きさの判別を目視に頼っているものの、今回の観察結果から着底後の稚魚の日中における底生生活は概ね以下の様に推測することができよう。まず着底直後の体長十数mmの稚魚は、水深およそ10mの砂あるいは砂泥地のくぼみ周辺を生息場とし、海底から高さ約5cm以内を活動範囲とするが、日中あまり移動はしない。このくぼみの隠れ場所としての機能は、中に落込んだ寄り藻によって高められる場合がある。体長約20~30mmに成長すると次第に行動範囲を広げるが、この頃から数匹単位で遊泳するものが出現する。この時期は、ミル類のような砂地に繁茂する海藻やより大きな寄り藻の周辺に生息することが多い。そして体長およそ40~50mmに成長すると、海底直上から数mまで遊泳する行動を示すなど、水平・垂直方向ともに次第に行動範囲を広げていく。福原(1991)は、体長20~50mmのものを生活域拡大期としており、

今回の観察結果はこれによく一致している。

さて、培養されたマダイ稚魚を用いた室内実験の結果からは、室内実験マダイの初期稚魚は、止水ではかいあし類をうまく捕食できない様子が窺われた。特に1989年の実験では、これが明瞭であった(図7)。すなわち、かいあし類の密度が低い場合にはマダイ稚魚がこれを餌料として認識できなかったためか、かいあし類を捕食しようとする行動もなかった。また、止水ではマダイに狙われたかいあし類が四方八方にうまく逃げ、マダイ稚魚の捕食能力よりかいあし類の逃避能力が勝っているようであった。さらに、高密度では捕食しようとするかいあし類をねらい定めることができずに、さも、迷うような行動をし、捕食のために跳びかかる際にも迷うように窺えた。これらの理由のため、止水でのかいあし類捕食量は大きくならなかったものと思われた。ただし、標準体長が25mmを超える稚魚の捕食量は著しく増加した。これは、マダイの遊泳能力が向上して、積極的に泳ぐことにより、逃げるかいあし類を追いかけて捕食できるようになった結果と考えられる。

体長25mmまでの稚魚でも流水条件下では毎秒2cm程度すなわち体長と同じか、2倍程度の流れのなかではマダイ稚魚は非常にうまくかいあし類を捕食することができることがわかった。しかし、流速が毎秒4cm、おおよそ体長の2倍の速さの流れでは餌の密度が50個体を越える高密度であれば、かえってうまく捕食できずに捕食量が少なくなる結果が得られた。これは、流速が2cm/sの緩い流れにおいては、餌料密度の増加によってかいあし類とマダイ稚魚の遭遇頻度が増加し、その結果、捕食量が増加したが、流速が4cm/sではかいあし類の接近速度が速すぎて注視度が低下し、マダイがうまくこれをねらいを定めて捕食できなくなったことにより、捕食量が減少したものと考えられる。しかし、注視度が低下したことによって捕食活動の回数が減ったのか、捕食成功率が下がったのかはここでは明らかにできなかった。

1990年の実験においては、マダイ稚魚の捕食量は、同じ体長で比べて、1989年より多くのかいあし類を捕食することができた。また、体長15mm以下の小さい稚魚でも流速4cm/sの流れでは2cm/sに比べて捕食量の低下が見られなかった。マダイのふ化時期は1990年の方が1989年よりも17日も早く、マダイが低水温のなかで飼育されたことにより例えば体長12mmに成長するのに6日長く要し

たように体成長が1989年より遅れたものの、全ての仔魚が稚魚に変態するのに4日長く要しただけにとどまった。このように、1990年の稚魚は体成長に比べて器官の成長が遅れなかったために、同じ体長では1990年の稚魚の方が運動能力や捕食能力が上回っていた可能性がある。1990年の稚魚は流速が4 cm/sにおいても2 cm/sにおけるかいあし類捕食量と同等の捕食量を得ることができ、さらに、ふ化後41日の稚魚は4 cm/sにおけるかいあし類捕食量が2 cm/sのそれよりも上回り、体長の3倍近い流速においてもうまくかいあし類を捕食できたことが窺える。このように、飼育条件が異なることにより飼育された稚魚に運動能力や、捕食能力に大きな差が生じることは、種苗生産過程に於ける“健苗性”を確保する上で重要な問題を示している。

Tanakaら(1987)は、天然のマダイ稚魚がかいあし類を餌料とするだけで生き残り、成長もできるかをエネルギー収支から推定した。すなわち、マダイ稚魚の標準代謝量と成長量から一日の必要餌料量をかいあし類に換算して求めている。それによれば、尾叉長15mmの底生生活への移行期もマダイ稚魚は一日あたりかいあし類を1000個体捕食し、かいあし類のみの摂食で日摂食量に見合うエネルギーを確保できるとしている。今回得られた止水・流水でのマダイのかいあし類捕食量をTanakaらの推定した必要エネルギー量と比べて見た。今回得た比成長関係式を用いて標準体長から尾叉長を算出し、Tanakaら(1987)の方法に従って必要かいあし類量を求めた(表7)。これを、マダイ稚魚が昼間の12

表7. マダイ稚魚の酸素消費量と成長量から見積られる餌料要求量と、これに見合うマダイ稚魚の日間および10分間のかいあし類の必要捕食量(Tanakaら 1987に従って推算)。
 体重は体長-体重関係($FL=1.123SL+1.251$ と $\log W=3.269\log FL-2.891$)より、酸素消費量は酸素消費量-体重関係式($Q=0.009W^{0.714}$)より推算。酸素-炭素比は4.77。日成長は1日あたり体長0.70mm、体重から増量を推算した。
 日間糧食量は基礎代謝量と成長量の和でとし、同化率は0.8。かいあし類 *Acartia* 1000個体で5.8mg、29.0calとし、消化率を0.8とし、マダイ稚魚はかいあし類1000個体で23.2calを得ることができるとして推算。

体長 (SL mm)	体重 (dry mg)	O ₂ 消費 (ml/hr)	標準代謝 (cal/day)	代謝のための 日間糧食量 (cal/day)	標準代謝のための 必要かいあし類数 (copepods) /day /10mins.	日間成長量 (mg)	(cal)	合計日間 糧食量 (cal)	総必要 かいあし類数 (copepods) /day /10mins.	
10	4.93	0.028	3.22	4.02	173	2.4	0.96	4.81	433	6.1
15	16.59	0.067	7.66	9.57	413	5.7	2.19	10.97	1003	13.9
20	40.14	0.126	14.39	17.98	775	10.7	4.01	20.04	1855	25.8
25	80.42	0.206	23.63	29.53	1273	17.7	6.45	32.26	3011	41.8
30	142.58	0.311	35.56	44.45	1916	26.6	9.55	47.79	4491	62.4
35	232.08	0.440	50.35	62.94	2713	37.7	13.35	66.81	6313	87.7
40	354.59	0.595	68.15	85.19	3672	51.0	17.88	84.45	8492	117.9

時間に均等にかいあし類を捕食するとして標準代謝および成長を含めた必要エネルギーを得るために、10分間に捕食しなければならないかいあし類個体数を図8、9、10、11、12のそれぞれに曲線で示した。

これらから明らかかなように、1989年の実験結果からは、止水の10個体/ℓで捕食されるかいあし類の数では、12時間均等に捕食するとしても、標準代謝量を得るに必要な摂餌量に達していない。また20～100個体でも捕食量が少なすぎて、これでは成長に必要なエネルギーを満たしていないことになる。捕食量の多かった2cm/sの流水でさえ、体長20mmより小さいマダイの多くは、50個体/ℓ以上の餌料密度でようやく成長に必要なエネルギーを得ることができる。これに対して、捕食能力の優れていた1990年の実験結果でも、10個体/ℓのかいあし類密度では成長に必要なエネルギーを得ることができず、20個体/ℓの密度が必要なことがわかる。

着底後のマダイは遊泳能力が急速に増し、体長の3～4倍の速さで泳ぐことができる(福原・岸田 1980)。しかし、泳ぐ速度が高ければ高いほど運動に必要なエネルギーが増えることになり、ベニザケの幼魚の場合、活動代謝量は標準代謝量のおよそ3倍となることが知られている(Brett 1964)。一方、マダイ稚魚が止水では積極的な捕食活動をしてもうまくかいあし類を捕食できないことから、天然でもかいあし類が群れていても流れが非常に弱いところや、スオームの中で、激しく泳ぎながらかいあし類を捕食するにはおおよそ成長を含めた必要エネルギーの2倍程度のエネルギーが必要と考えられる。流水路の中でマダイ稚魚の遊泳実験では、マダイは流れの中に置いた物体の後ろの穏やかな流れを選ぶことが観察されている(木元、未発表)。かいあし類を入れた時には、そこは、かいあし類の群れの端にあたり、マダイは渦流からはずれて流下するかいあし類を止水の中よりたやすく捕食することができるようである。室内実験から推察されるマダイ稚魚の餌料捕食の能力からすると、海底直上の緩やかな流れの中を流下するかいあし類を潮下から待ち受けて捕食するのがエネルギーが少なくて済む最も適した摂餌方法であると考えられる。天然で日々生命活動を営む生物は常にエネルギー効率の良い生活を選択していることは疑いない。このことから、着底期の天然マダイ稚魚は、その最も適した餌を潮の流れとともに緩やかに海底直上層を水平移動するかいあし類密度が数十個体/

又のスオーム状のかいあし類や、海底の海藻草や物の潮陰にできるかいあし類スオームの潮下で周囲でスオームからはぐれて流下するかいあし類に求めていると推察される。

このとき、マダイ稚魚の食物要求量からすれば、少なくとも1リットルあたり20個体の密度のスオームが存在しなければならないことになることから、マダイ稚魚の生存にとってかいあし類の海底直上層の高密度分布は必須の条件と推察される。

今回のこの海洋現場での詳細な観察と、室内実験の結果より、マダイ稚魚の着底場およびその後の生息場の環境としておおよそ次のような条件が挙げられる。すなわち、1)砂地あるいは砂泥地の海底表面に存在する直径数cmから20cm程度の微小な凹凸やくぼみ、あるいは海藻が存在すること、2)餌料となるかいあし類(*Acartia*)が20個体/l程度の密度で分布すること、である。このことから、稚魚期マダイの生息域を造成する場合には、大きな遮蔽的構造物を設置する事は好ましくなく、海底に起伏を付けることができるような機能を持った構造物の方がより好適であるといえよう。

【参 考 文 献】

- Brret, J.R. : The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon, *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 21, 1183-1226, 1964
- 福原 修 : マダイ稚仔魚の形態学的研究 - IV. 幼期の外部形態と成長, 南西水研報, (16), 85-94, 1984
- 福原 修・岸田 達 : マダイ稚仔魚期における二, 三の行動, 南西水研報, (12), 9-20, 1980
- 福原 修 : ベントスとマダイ, 日本海区水産研究所連絡ニュース, 358: 1-4, 1991
- 柿元 皓・大久保久直・板野英彬・新井健次 : 魚礁における動物プランクトンの分布様式について, 水産土木, 19(2), 21-28, 1983
- Kimoto, K., J. Nakashima and Y. Morioka: Direct observations of copepod swarm in a small inlet of Kyushu, Japan, *Bull. Seikai Reg.*

Fish. Res. Lab., (66), 41-58, 1988

木元克則：沿岸浅海域における動物プランクトンの群の形成と海底形状との関わり，*水産土木*，24(1)，31-36，1987

三村 元・吉本 悟・斎藤 新一・林 知夫・高橋 正雄：粗放的育成池におけるマダイ仔稚魚の生態観測，*J. Fac. Appl. Biol. Sci.*，23：95 - 119，1984

田中邦三・石田 修・須田恭光・庄司康雄：東京湾におけるマダイについて V，館山湾内の漁場形成，*千葉水試研報*，37，43-48，1978

花渊信夫：油谷湾におけるマダイ幼魚の分布，*西水研研報*，54：79-91，1980

Tanaka, M. H. Ueda, M. Azeta and H. Sudo: Significance of near-bottom copepod aggregations as food resources for the juvenile red sea bream in Shijiki Bay, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53(9), 1545-1552, 1987

Ueda, H., A. Kuwahara, M. Tanaka and M. Azeta: Underwater observations on copepod swarms in temperate and subtropical waters, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 11, 165-171, 1983