

## マダイ仔稚魚の遊泳能力に関する実験的研究

岸 田 達・福 原 修

### Experimental Study on the Swimming Ability of Laboratory-Reared Larvae and Juveniles of Japanese Red Sea Bream, *Chrysophrys major* (Sparidae)

Tatsu KISHIDA and Osamu FUKUHARA

Swimming ability of larvae and juveniles of laboratory-reared Japanese red sea bream, *Chrysophrys major*, was measured to study its development with growth.

A total of 103 fish was examined. They ranged from 2.8 mm to 46.0 mm in standard length (SL), and from 10 to 68 days in age. The fish were forced to swim in an experimental tube against current of 2.9 SL/sec (for the 10 day-old larva) and 9.5 SL/sec (for the 60 day-old larva) in velocity.

The relationship between swimming distance ( $v \cdot t$ ) and standard length ( $l$ ) was expressed as follows:  $v \cdot t = 179 l^{3.47}$  where  $v$  is swimming speed and  $t$  is swimming time.

Iwata *et al.* (1971) postulated that the relationship between three variables:  $v$ ,  $t$  and  $l$ , is expressed by an equation:  $v \cdot t^k = a l^b$ . Applying the data of the present experiment to this formula, an equation  $\ln t = 9.33 + 7.60 \ln l - 3.74 \ln v$  (i.e.  $v \cdot t^{0.267} = 12.1 l^{2.03}$ ) was obtained.

魚類の遊泳能力に関する研究は、行動や生態と深く係わる課題として古くから関心が持たれ、多くの魚種が研究素材として扱われている。既往の研究については千田<sup>1)</sup>、福田<sup>2)</sup>の抄録に詳しい。

仔稚魚の遊泳能力については、仔稚魚の分布と環境水の流動との関連性に着目して調べられたり (BISHAI<sup>3)</sup>、HOUDE<sup>4)</sup>、採集網に対する逃避能力の測定のために調べられたり (RYLAND<sup>5)</sup>) した例が見られる。また塚本・梶原<sup>6)</sup>、TSUKAMOTO *et al.*<sup>7)</sup> は、アユ仔稚魚の発育に伴う遊泳能力の発達の過程を調べた。

マダイ仔稚魚の遊泳能力については、これが稚魚期への移行後に起こる行動範囲の拡大、着底を中心とする環境に対する自律性の発現といった天然で観察される現象<sup>8)-11)</sup>と密接に関連していると考えられる点で重要と思われるがこれについての知見は乏しい。<sup>12)</sup>

そこで筆者らはマダイの仔稚魚を飼育し、発育に伴う遊泳能力の発達の過程を知るために実験を行い若干の知見を得たので報告する。

本研究を進めるに当り御支援と本稿の校閲を頂いた内海資源部長倉田博博士、同部上田和夫第一研究室長、並びに実験材料の提供を頂いた広島県水産試験場伏見徹生産部長に対し深く感謝の意を表す。また結果の統計処理に際しては内海資源部石岡清英技官の指導を頂いた。記して深謝の意を表す。

## 材料及び方法

### 1. 仔稚魚の飼育

遊泳実験に用いたマダイ仔稚魚は、広島県水産試験場の養成親魚がいけす内で自然産卵したものを採集し、当研究所でふ化させ飼育したものである。産卵は1979年5月17日、ふ化は5月20日であった。(詳細は

前報<sup>13)</sup>。ふ化仔魚は前報<sup>13)</sup>と同様の方法で稚魚まで継続して飼育し、飼育過程の仔稚魚を各実験日に水槽から適宜抽出して実験に供した。

飼育期間中の餌料は、仔稚魚の発育段階を考慮しながら、シオミズツボムシ (*Brachionus plicatilis*)、チグリオプス (*Tigriopus japonicus*) 及びアルテミア (*Artemia salina*) のノープリウス、アサリ・マガキ・アミ等のミンチという順序で与えた。

## 2. 実験装置

今回用いた実験装置は、Fig. 1 に示したように組み立てた。この装置は藤谷ら<sup>14)</sup>がクルマエビの抗流実験を行う際に用いたものを参考にした。実験管は透明なアクリル樹脂製で内径 6.0 cm、漏斗から実験管の流出口までの長さは 150 cm である。

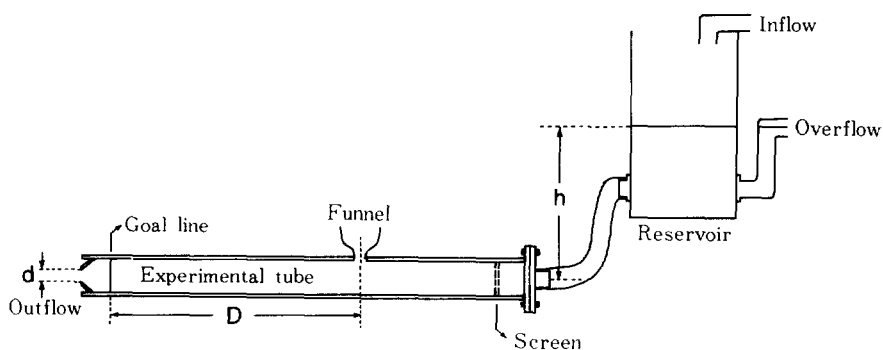


Fig. 1 Apparatus used to test the swimming ability. Current velocity is controlled by adjusting both  $d$  and  $h$ .  $D$ : distance from the center of funnel to goal line on the tube.

実験管への給水には仔稚魚の飼育水と同じ砂濾過海水を用いた。濾過海水のみで必要な流量が得られない場合に限り未濾過の海水を寒冷紗でこしたものを補助的に加えた。流量は Fig. 1 の水位差  $h$  と流出口の内径  $d$  を変えることにより調整できる様にした。

## 3. 実験の要領及び手順

実験はふ化後10日目（5月30日）から68日目（7月27日）までの間概ね週に1回、1回当たり合計10尾前後について行った。供試魚総数は103尾で、その標準体長（以下体長という）の範囲は2.8～46.0mmであった（Table 1）。

実験に際しては飼育水槽から供試魚を取り上げ、漏斗（Fig. 1 参照）から実験管へ送り込んだが、その操作は以下の要領で行った。すなわち、仔魚期には水槽表層の魚を無作為に1尾ずつビーカーで海水ごとすくい取り、静かに漏斗より流し入れた。稚魚期に移ってからは直径60cmの円筒形の網を水槽中に沈めて放置し、網の上を遊泳する魚が10尾以上になった時点で網を水面より半分上げた。そして入網した稚魚をビーカーで1尾ずつ海水ごとすくい取り、漏斗から実験管に流し込んだ。

実験管には漏斗の差込口中央から流出口へ向って距離  $D$  の地点に線を引いた（Fig. 1 参照）。そして供試魚が実験管へ送り込まれた時点から流されてこの線を通るまでの時間をストップウォッチを用いて計測した。但し  $D$  は 100 cm（5月30日～6月19日）、130 cm（6月27日～7月3日）、140 cm（7月10日～27日）とした。各供試魚は実験管の流出口に網を受けて採捕し、体長を測定した。

## 4. 遊泳能力の評価に必要な2要素の算出

実験管中に導入したマダイ仔稚魚は正の走流性を示し、流れに抵抗して遊泳するのが普通であった。今回

Table 1. Experimental conditions of swimming performance for red sea bream in 1979.

Date	Age (days)	Number of fish examined	Standard length (mm)				Water temp. (°C)		Flow quantity (ml/sec)	Velocity/sec. (SL/sec)	
			Mean	Min.	Max.	S. D.	Rearing tank	Exp. tube			
May	30	10	20	4.3	2.8	5.1	0.6	20.6	19.6	225	2.9-3.3
	31							11	20.1	18.0	225
June	5	16	10	5.3	3.4	6.7	1.0	21.3	-	225	2.9-3.3
	19	30	11	13.0	9.9	15.4	1.9	21.1	19.0	355	4.6-4.7
	27	38	16	17.3	15.2	21.3	1.6	22.0	21.4	445	5.6-5.9
July	3	44	11	21.0	16.0	25.4	3.1	22.0	21.3	445	5.5-5.8
	10	51	4	24.0	23.0	25.3	1.0	21.9	21.8	560	7.0-7.1
	13	54	9	27.1	22.7	33.5	3.0	22.1	22.3	633	7.4-7.9
	19	60	12	32.5	30.0	36.7	2.1	22.5	22.7	789	9.1-9.5
	27	68	10	40.6	33.8	46.0	3.4	24.9	24.9	789	8.6-9.3

S. D., Standard deviation; SL, Standard length

の実験では、各供試魚の遊泳能力評価のために、流れに対する抗力の2要素、すなわち実験管中での遊泳速度  $v$ 、流されるまでの遊泳時間  $t$  の2項目を以下の方法で算出した。

i) 遊泳速度

実験管断面内で供試魚が遊泳する部位における流速を遊泳速度とした。実験管の断面上の流速は次式で与えられる<sup>3)</sup>。

$$v' = 2q/\pi \{1/r^2 - (r'/r^2)^2\} \dots \dots (1)$$

- $v'$  : 管の中心より距離  $r'$  の点における流速
- $q$  : 単位時間当りの流量
- $r$  : 管の半径

従って、供試魚の遊泳速度を算定するためには観察により  $r'$  を決定する必要がある。

ii) 遊泳時間

前述のストップウォッチによる計測値、すなわち供試魚が実験管の中へ送り込まれてから、下流に設定した線を通過するまでの時間を  $T$  とした時  $T = t + t'$  と考えられる。ここに  $t$  は魚が流れに逆らって遊泳した時間、 $t'$  は距離  $D$  を受動的に流されるのに要する時間である。そこで遊泳時間  $t$  は  $t = T - t'$  より求めた。

$t'$  の算定は、個々の個体の流される際の位置が正確には把握し得なかったため、便宜的に  $t' = D/(q/\pi r^2)$  とした。 $q/\pi r^2$  は、流量  $q$  のときの平均流速であり、管壁より0.9cm内側の円周上において実現される流速である。体長が増大して  $v > q/\pi r^2$  となった個体については  $t' = D/v$  とした。

## 結 果

### 1. 仔稚魚の性状

各実験日における供試マダイの大きさ、飼育槽水温、実験条件などを Table 1 に、成長曲線を Fig. 2 にそれぞれ示した。今回の実験に供したマダイ仔稚魚の摂餌状態、成長の状態について特に異常は認められなかった。

既述の如く、流水中に送り込まれたマダイはほとんどが正の走流性を示したが、中にはこの態勢にはいる

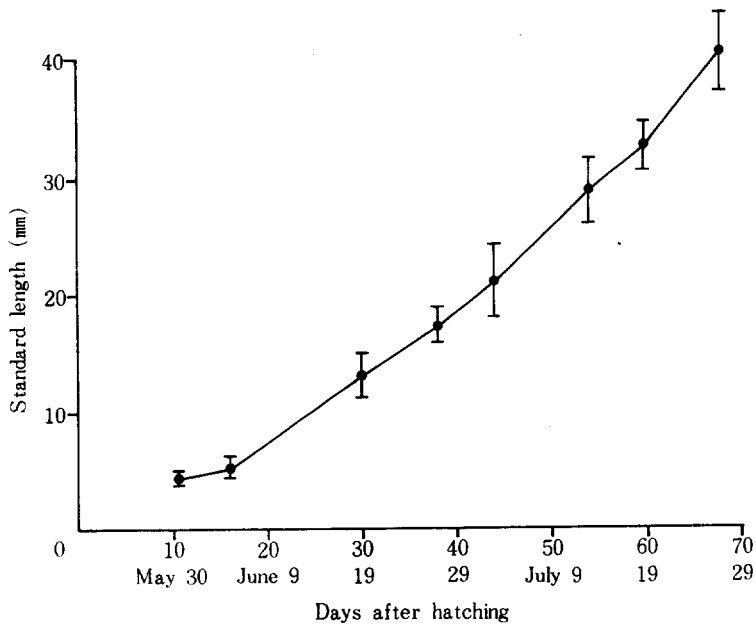


Fig. 2 Growth curve of the fish used in the present experiment. Each point and bar shows the mean and standard deviation. Refer to Table 1 for the details of each measurement.

前に流されてしまう個体もみられた。これらの個体は実験管に導入する際の取扱い方に問題があったために環境の急変に適応し得なかった例と判断して集計の際除外した（103尾中7尾）。

## 2. 遊泳速度の算定

実験管中の供試魚は管の天井部あるいは底部に接する姿勢で遊泳するのが普通に見られる遊泳位置であった（Fig. 3 参照）。そこで(1)式における  $r'$  の値は次式により算定した。

$$r' = r - H/2 \quad \dots\dots(2)$$

H：供試魚の遊泳時の鉛直方向の高さ（Fig. 3 a, b 参照）

実際にはHの値は以下の如く決定した。稚魚に対しては6月19日、27日、7月13日の実験に供した後ホルマリン固定した28尾について、背鰭上端から腹鰭下端までの長さを測定し、体長  $l$  との比を求めた。そしてその平均値として0.6を得た。そこで

$$H = 0.6 l \quad \dots\dots(3)$$

とした。(1), (2), (3)式より稚魚の遊泳速度  $v$  は

$$v = 2q/\pi \left[ 1/r^2 - \{(r - 0.3l)/r^2\}^2 \right]$$

より算定した。

仔魚の場合は背鰭、腹鰭が未完成で形態的には同一の数値を用いられない。また仔魚は遊泳の際、実験管の天井部で頭を上向きにして体を傾ける傾向が見られ（Fig. 3 a）、観察によるHの算定は難しかった。そこで仔魚の場合にも(3)式を用いた。この場合仔魚の傾きは約30°と計算されるが、この値は RYLAND<sup>5)</sup> が plaice

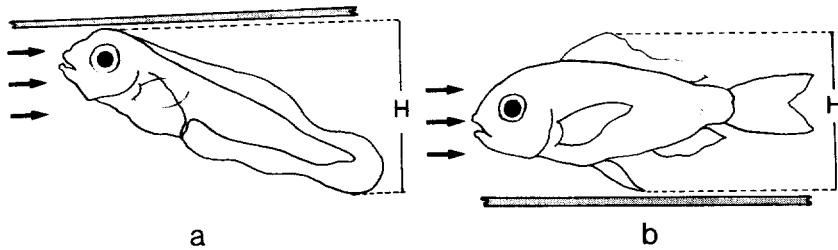


Fig. 3 Semidiagrammatic drawing of swimming posture of larva and juvenile in the experimental tube. The length of H which is used to calculate the swimming speed is indicated. Arrows show the direction of water current.

(*Pleuronectes platessa*) 仔魚で観察した値と一致しており、大きな誤りは無いと考えた。

### 3. 遊泳能力と体長の関係

遊泳能力を表わす指標として  $v \cdot t$  を考え、 $vt$  と  $l$  の関係を求めた。一方岩田ら<sup>15)</sup>の報告によると3変数  $l, v, t$  は  $vt^k = al^b$  なる関係によく適合することが伺えた。そこで今回の測定値を同式に当てはめ、定数  $a, b, k$  を求める試みを行った。

#### i) $vt$ と $l$ の関係

$vt$  とは、供試魚が実験管中で流れに抗して実質的に遊泳したであろう距離である。既述の除外例を除く96尾について、それぞれの  $l$  と  $vt$  を普通目盛で図示すると Fig. 4 が得られる。これを両対数目盛で図示したものが Fig. 5 である。前記96例の中には  $t = 0$  と算定されたものが3例あったがこれらは  $vt$  の値を対数に変換すると  $-\infty$  となり意味を持たなくなるため除いた。

Fig. 5 の点の分布を直線とみなし、最小2乗法により  $\ln l$  に対する  $\ln vt$  ( $\ln = \log_e$ ) の直線回帰式を求め、

$$\ln vt = 5.19 + 3.47 \ln l \quad (\text{または } vt = 179 l^{3.47}) \dots\dots(4)$$

を得た(単位は  $vt, l$  共に cm)。Fig. 4, 5 で白ぬきの点で示してある値は遊泳時間が長過ぎたため途中で実験を打切った個体の値であるが、この2点も計算に含めた。帰無仮説  $\beta = 0$  ( $\beta$ : 母集団回帰係数) を F 検定した結果、仮説は 1% 有意水準で棄却された。従って直線のあてはめには意味があると言えよう。また  $\ln l$  と  $\ln vt$  の間の相関係数は、0.879であった。

(4)式で表わされる曲線を Fig. 4 に示した。

#### ii) $vt^k = al^b$ へのあてはめ

上式に93尾分の測定値をあてはめ定数  $a, b, k$  を求める試みは以下の様に行った。

この式の両辺の対数をとると

$$\ln v + k \ln t = \ln a + b \ln l$$

となる。この実験で  $t$  は  $l$  と  $v$  に対し従属的な関係にあるため、 $\ln l, \ln v$  を説明変数、 $\ln t$  を目的変数とする重回帰式のあてはめを行い、

$$\ln t = 9.33 + 7.60 \ln l - 3.74 \ln v \dots\dots(5)$$

を得た。帰無仮説  $\beta_1 = \beta_2 = 0$  を F 検定した結果、仮説は 1% 有意水準で棄却された。従って有意水準 1% で重回帰式のあてはめには意味があると言えた。重相関係数  $R = 0.745$ 、寄与率  $R^2 = 0.555$  であった。得られ

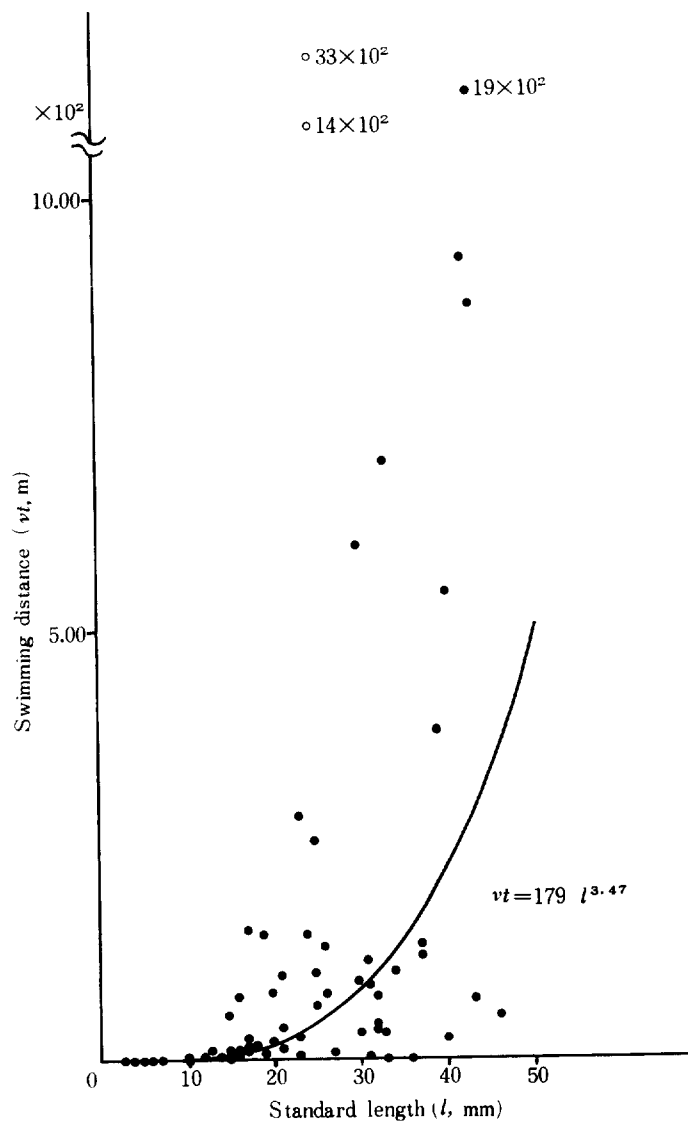


Fig. 4 Relationship between standard length ( $l$ ) and swimming distance ( $v \cdot t$ ). Regression curve of  $vt$  against  $l$  is also indicated.

た偏回帰係数から  $a = 12.1$ ,  $b = 2.03$ ,  $k = 0.267$  が計算された。従ってこの方法によって求めたマダイ仔稚魚の  $l$ ,  $v$ ,  $t$  の関係は  $vt^{0.267} = 12.1 l^{2.03}$  と表わされた。

#### 考 察

今回の結果を Fig. 4 でみると、 $vt$  で表わした遊泳能力は、仔魚期には稚魚期以降と比べて相対的に小さ

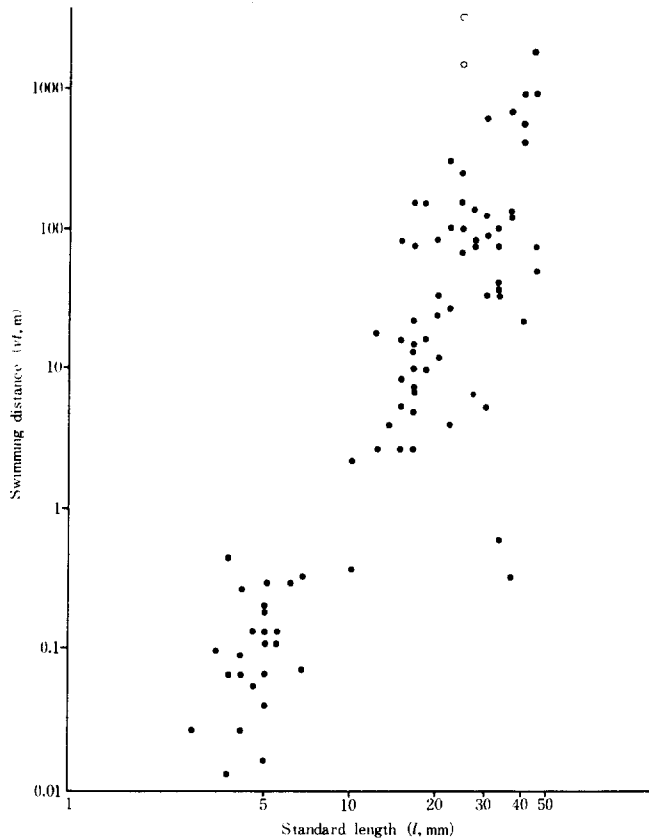


Fig. 5 Relationship between the logarithms of swimming distance ( $vr$ ) and those of standard length ( $l$ ).

いことがわかる。このことから天然におけるマダイ仔魚は、その分布や移動の面で環境海水の流動に依存する部分が大きいことが推察できる。

マダイの仔魚期から稚魚期への移行期について、北島<sup>16)</sup>は、尾叉長6~10mmになったマダイを仔魚後期Ⅱ期と呼び、形態的な変化の顕著な時期としている。これは体長にすると5.4~9.0mmに相当する(北島<sup>16)</sup>、森<sup>10)</sup>の報告より概算)。この時期は筋節の変化<sup>16)</sup>、各鱗の形成<sup>17)</sup>など遊泳能力の発達に影響を及ぼすとみられる諸形態の発達も顕著であり、この期を経て稚魚期に移行すると遊泳能力は Fig. 4 に見る通り増加が見られるようになる。

マダイ稚魚の天然における生態について、田中<sup>9)11)</sup>は志々伎湾内外の仔稚魚の分布を調べることにより、全長10mm(体長8.3mm)を超えた稚魚は表層に出現する傾向がみられるとし、更に浮遊生活期の最終段階にある全長10mmを超えた稚魚が幼稚魚育成場へ能動的な移入を行っている可能性を指摘した。また森<sup>10)</sup>は油谷湾におけるマダイ稚魚の水平方向の移動は全長10mmを超えた段階で除々に始まるとしている。そして田中<sup>9)11)</sup>は着底が行われるのは全長12~15mm(体長10~12.5mm)の間であろうと推定している。Fig. 4 に見られる様な稚魚期へ移行してからの遊泳能力の増加はこれら天然での行動範囲の拡大、生息場所の能動的な移動といった現象と密接な関係を有すると考えられる。つまり諸形態の変化、発達に伴う遊泳能力の発達は、マダイ

稚魚の比較的急激な生活様式の変化を可能ならしめる条件の1つであると言えよう。

マダイ仔稚魚で得られた測定値を  $vt = al^b$  にあてはめた場合と  $vt^k = al^b$  にあてはめた場合の定数  $a, b, k$  の差異は、(4), (5)式に見る通り両回帰式における独立変数(説明変数)と従属変数(目的変数)のとり方の違いによるものである。実験式  $vt^k = al^b$  は岩田ら<sup>13)</sup>がマダイについて求めたが、この関係の存在は以下のことから推察できた。遊泳時間  $t$  と遊泳速度  $v$  の関係について岩田ら<sup>13)</sup>、塚本・梶原<sup>6)</sup>は数種の魚における幅広い  $v, t$  の値について

$$vt^k = C \quad (C: \text{定数 } 0 < k < 1) \quad \dots\dots(6)$$

なる関係を認めた。また遊泳速度  $v$  と体長  $l$  の関係について BLAXTER & DICKSON<sup>18)</sup>は 1~25cm の herring (*Clupea harengus*) で  $v = 7.6 l^{0.94}$  なる関係を見出し、BRETT<sup>19)</sup>は一般的に

$$v = al^b \quad \dots\dots(7)$$

が成り立つとしている。(6)式において  $C$  は  $t = 1$  の時の  $v$  の値である。これを  $v_{max}$  と置くと

$$vt^k = v_{max} \quad \dots\dots(8)$$

となる。(7)式が一般的に成立するなら

$$v_{max} = al^b \quad \dots\dots(9)$$

が成立する。従って(8), (9)式より  $vt^k = al^b$  が一般的に成立することが推察できる。ただし以上の論議は主に幼・成魚の遊泳実験の結果に基いており、仔稚魚の資料に基いてはあまりなされていない点で問題が残る。

魚類の遊泳に関する既往の研究によれば遊泳の型には持続的な遊泳(巡航)と爆発的な遊泳(突進)、更にその中間の型(間欠的な突進を含む巡航)の3通りがある<sup>20)21)</sup>。BRETT<sup>20)</sup>によれば持続的遊泳とは酸素消費量が活動代謝量より低いレベルでの遊泳であり、爆発的遊泳は酸素債を伴う遊泳で速やかな疲労を引き起こす。塚本・梶原<sup>6)</sup>によると魚類の一般的な巡航速度は 2~3 l/sec. (1秒間に体長の2~3倍)で、突進速度は 10 l/sec. 前後である。今回の実験では Table 1 における SL/sec. の値の範囲からみて供試魚の遊泳は両者の中間の型であったと考えられる。

## 摘 要

屋内水槽で飼育したマダイ仔稚魚の遊泳能力を測定し以下の結果を得た。

1. 2.8~46.0mmの仔稚魚について、実験管中の流れに流されるまでに実質的に遊泳し得た距離  $vt$  と体長  $l$  の間の関係は  $vt = 179 l^{3.47}$  で示された。ただし  $v$  は実験管中における供試魚の遊泳速度、 $t$  は流されるまでの遊泳時間である。
2. 岩田ら(1971)の報告から知られる実験式  $vt^k = al^b$  へ今回の実験で得られた測定値のあてはめを行い、 $\ln t = 9.33 + 7.60 \ln l - 3.74 \ln v$  (すなわち  $vt^{0.267} = 12.1 l^{2.03}$ ) を得た。
3. マダイ仔稚魚の遊泳能力は稚魚期へ移行する頃からその増加が大きくなる様子が伺えた (Fig. 4)。

## 文 献

- 1) 千田哲資, 1970: 魚類の遊泳に関する文献抄録. 本四架橋影響調査, 流れと魚の遊泳参考資料No. 2. 岡山水試, 52pp.
- 2) 福田富男, 1971: —— (II). 同上No. 5. 岡山水試, 37pp.
- 3) BISHAI, H. M., 1960: The Effect of Water Currents on the Survival and Distribution of Fish Larvae.



J. Cons int. Explor. Mer., 25, 134—146.

- 4) HOUDE, E. D., 1969: Sustained Swimming Ability of Larvae of Walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*) and Yellow Perch (*Perca flavescens*). J. Fish. Res. Bd. Can., 26(6), 1647—1659.
- 5) RYLAND, J. S., 1963: The Swimming Speeds of Plaice Larvae. J. Exp. Biol., 40, 285—299.
- 6) 塚本勝巳, 梶原 武, 1973: 魚類の遊泳速度と遊泳能力. 水産土木, 10(1), 31—36.
- 7) TSUKAMOTO, K., T. KAJIHARA and M. NISHIWAKI, 1975: Swimming Ability of Fish. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 41(2), 167—174.
- 8) 田中 克, 1977: 志々伎湾の環境構造とマダイ当才魚の生産をめぐる問題点. 漁業資源研究会議報, (20), 77—102.
- 9) 田中 克, 1979: 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.
- 10) 森慶一郎, 1980: 油谷湾における浮遊期, 底生生活初期のマダイの生態. 西水研研報, 54, 59—78.
- 11) 田中 克, 1980: 志々伎湾におけるマダイ仔稚魚の生態に関する研究—Ⅰ. 浮遊生活期仔稚魚の水平分布. 西水研研報, 54, 231—258.
- 12) 佐藤正明, 伏見 徹, 増村和彦, 1973: V. 稚仔魚の遊泳能力. 備後灘周辺漁場開発プロジェクトチーム (編, 発行). 浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究, 269—270.
- 13) 福原 修, 岸田 達, 1980: マダイの稚仔魚期における二, 三の行動. 本誌, (12), 9—20.
- 14) 藤谷 超, 石岡宏子, 福原 修, 1972: 3. 流れに対する抵抗性について. 備後灘周辺漁場開発プロジェクト・チーム (編, 発行). 浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究, 13p.
- 15) 岩田清二, 大山文男, 福田富男, 1971: 流れに対する魚類の行動と, 魚類に及ぼす流れの影響—(Ⅱ), 本四架橋影響調査, 流れと魚の遊泳参考資料No. 4, 岡山水試, 15pp.
- 16) 北島 力, 1978: マダイの採卵と稚魚の量産に関する研究. 長崎県水産試験場論文集No. 5, 92pp.
- 17) 福原 修, 1976: マダイ稚仔魚の形態学的研究—Ⅰ. 鱗の形成について. 本誌, (9), 1—11.
- 18) BLAXTER, J. H. S. and W. DICKSON, 1959: Observations on the Swimming Speeds of Fish. J. Cons. int. Explor. Mer., 24, 472—479.
- 19) BRETT, J. R., 1965: The Relation of Size to Rate of Oxygen Consumption and Sustained Swimming Speed of Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*). J. Fish. Res. Bd. Can., 22(6), 1491—1501.
- 20) BRETT, J. R., 1964: The Respiratory Metabolism and Swimming Performance of Young Sockeye Salmon. J. Fish. Res. Bd. Can., 21(5), 1183—1226.
- 21) WEBB, P. W., 1975: Hydrodynamics and Energetics of Fish Propulsion. Bull. Fish. Res. Bd. Can., 190, X+158pp.