

TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

チャイロマルハタ仔魚の遊泳・摂餌関連形質の発達

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2008-03-31 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 成澤, 行人, 河野, 博, 藤田, 清 メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/198

チャイロマルハタ仔魚の遊泳・摂餌関連形質の発達*

成澤行人^{*1}・河野 博^{*1,2}・藤田 清^{*1}

DEVELOPMENT OF SWIMMING- AND FEEDING-RELATED CHARACTERS IN THE GROUPER, *EPINEPHELUS COIODES*, LARVAE

Yukito Narisawa^{*1}, Hiroshi Kohno^{*1,2} and Kiyoshi Fujita^{*1}

Developmental sequences of swimming- and feeding-related characters were examined on the laboratory-reared grouper, *Epinephelus coioides*, from newly-hatched larvae to juveniles. Furthermore, in order to know the specific characteristics of early life history of the grouper, the results were compared with those of seabass, *Lates calcarifer*, and milkfish, *Chanos chanos*.

The following three phases were recognized in the grouper larvae based on the developmental mode of swimming-related characters: 1) the phase with less active swimming (from hatching to 13 days after hatching, D13); 2) the phase in which all fins and vertebrae appeared, the swimming modes of rush and maneuverability developing simultaneously but slowly (from D14 to D34, divided into two sub-phases at D25, depending on swimming ability); and 3) the functional juvenile phase with complete swimming ability (beyond D35). On the other hand, the following four phases were recognized according to the developmental mode of feeding function: 1) the phase with no functional feeding ability (from hatching to D7); 2) the phase in which fundamental elements forming the oral cavity appeared, the feeding mode of sucking developing (from D10 to D25, divided into two sub-phases at D20, depending on sucking ability); 3) the phase in which pharyngeal teeth increased in number and ossification of oral-cavity elements started, the grasping ability being added (from D26 to D34); and 4) functional juvenile phase with complete feeding ability (beyond D35).

Based on the developmental modes of swimming and feeding functions, the compared three species were divided into two types, the milkfish and seabass types, the former having the mode of the caudal fin-propulsion swimming and straining feeding represented by the milkfish alone, whereas the latter having rush-maneuverable swimming and sucking-grasping-biting feeding represented by the seabass and grouper. The following results were obtained in the comparison of the developmental modes between the grouper and seabass: 1) the swimming- and feeding-related characters appeared much earlier in the seabass; 2) the caudal fin, vertebrae, unpaired-fins and paired-fins occurred simultaneously but developed slowly in the grouper, whereas in the seabass, the caudal fin, vertebrae and unpaired-fins occurred first to strengthen the rush-swimming, followed by the paired-fins for maneuverability, all of these characters occurring in a short period; 3) the feeding modes of grasping and biting were acquired earlier in the seabass; and 4) the grouper developed functionally into the juvenile stage beyond D34–35, whereas the functional juvenile phase was recognized beyond D18–20 in the seabass.

Based on these results, the developmental modes of characters related to the swimming and feeding functions in the grouper larvae were considered to be disadvantageous to survival; this seems to be one of essential causes of the difficulty in rearing the grouper larvae.

Key words: Swimming function, Feeding function, Ontogenetic development, Groupers, *Epinephelus coioides*, *Lates calcarifer*, *Chanos chanos*

* Received May 30, 1997.

^{*1} Laboratory of Ichthyology, Tokyo University of Fisheries, 5–7, Konan 4-chome, Minato-ku, Tokyo 108, Japan (東京水産大学魚類学研究室).

^{*2} Corresponding author.

緒 言

ハタ科、とくにハタ亜科に属する魚類は、シンガポールやタイ、フィリピン、マレーシア、インドネシアなどの東南アジア諸国で、1980年代から養殖の対象種として注目されてきた。しかしその養殖方法は、天然水域から採捕された稚魚、幼魚あるいは若魚を、生簀や素掘りの池などで数週間から数か月飼育するという、いわゆる畜養である (Kohno *et al.*, 1988)。マハタ属 (*Epinephelus*) 魚類の養殖用の種苗も現在のところ完全に天然の種苗に依存している。そのため人工種苗生産による安定した種苗の供給も試みられている (Supriatna and Kohno, 1990; Doi *et al.*, 1991; Muchari *et al.*, 1991; Ruangpanit, 1993)。しかし、ハタ類の初期飼育は難しく、各国の試験研究機関で実験的に種苗生産が行われているものの、未だに産業のレベルには達していないのが現状である。

こういった状況下で、とくにマハタ属魚類の初期飼育がどうして難しいのかを追究した研究として Kohno *et al.* (1994a, 1997) があげられる。前者ではアカマダラハタ (*E. fuscoguttatus*) の外部形態や内部栄養量の変化、初期摂餌能力などのさまざまな生物学的特質を、また後者ではチャイロマルハタ (*E. coioides*) のとくに口器を中心にした摂餌器官の骨学的発育を、他の熱帯海産魚と比較することで、ハタ類の飼育の難しさの原因を明らかにしている。しかし、これらの研究の対象魚はふ化後約一週間から10日くらいまでの仔魚で、とくに内部栄養から外部栄養への転換期の生活史の解明に努力が払われている。これは、ふ化から稚魚にいたる初期生活史のごく一部の期間であり、これによってハタ類の種特性を論じるには情報が充分ではないと考えられる。

そこで本研究では、チャイロマルハタのふ化仔魚から稚魚にいたるまでの遊泳と摂餌機能に関する器官の、とくにその骨格系の形態発育を調べることを第一の目的とした。チャイロマルハタは、西は紅海の南部～アフリカの東岸から東は西太平洋の琉球列島～オーストラリアのニューサウスウェールズにいたるインド-太平洋の亜熱帯・熱帯海域に広く分布し、また沿岸や河口の塩分の低い汽水域にもよく出現する魚類である (Randall and Heemstra, 1991)。本種の飼育下での産卵生態や仔稚魚飼育については Doi *et al.* (1991) によって、また内部栄養から外部栄養への転換については Ordonio-Aguilar *et al.* (1995) によって研究されている。本研究ではさらに、比較材料として、熱帯海産魚であるアカメ (*Lates calcarifer*) とサバヒー (*Chanos chanos*) の稚魚までの遊泳と摂餌に関する器官の発達も調べた。これらの結果と比較することによって、チャイロマルハタの初期生活史の種特性がより明らかになるものと期待される。

遊泳と摂餌に関する器官の骨格系の形成過程については、Kohno *et al.* (1983, 1984) が各々マダイ (*Pagrus major*) とマサバ (*Scomber japonicus*) について、また勝山 (1989) がブリ (*Seriola quinqueradiata*) について、Omori *et al.* (1996) がクロソイ (*Sebastes schlegeli*) について発表しており、さらに骨格系の発育に基づく遊泳・摂餌機能の発達に関しては松岡 (1991) や細谷 (1992) の総説がある。なお、本研究で比較材料としたアカメとサバヒーについても、遊泳と摂餌機能に関する器官形成は、Kohno *et al.* (1994b) と Taki *et al.* (1986, 1987) によって各々明らかにされている。

材 料 と 方 法

本研究で用いられたチャイロマルハタの標本は、1991年1月～2月にかけて、半島マレーシアの東岸にあるコタバルーのマレーシア政府水産局のタンジョンデモン海産魚ふ化場で飼育された

仔稚魚である。産卵は1月22日に認められた。これは、陸上の150トンコンクリート水槽内で養成していた複数の親魚（産卵に参加した個体数や性比は不明）が自然産卵したものである。産卵された卵は250 lのパンライト水槽に移され、数時間おきに浮上卵だけが掬い取られた。浮上卵は、あらかじめクロレラを入れておいた5トンの円形飼育水槽に、1 lあたり約20個となるように収容された。ふ化後2日目からカキ (*Crassostrea* spp.) の幼生とタイ産SSワムシを与え、5日目からは通常の大きさのワムシを与えた。ふ化後13日目からはアルテミアのノープリウス幼生を加え、25日目からはアルテミアに代えて魚肉ミンチを給餌した。飼育期間中の水温は28~31°C、塩分は28~30であった。

標本の採集はふ化後37日まで毎日20尾ずつ行われたが、本研究では、これらの標本の中から、ほぼ毎日無作為に抽出した5尾前後からなる総計140個体（体長1.58~17.77 mm）の標本を使用した。これらの標本を5%ホルマリンで固定、保存した後、Potthoff (1984) に従って透明二重染色処理し、遊泳と摂餌に関する器官の化骨・形成過程を調べ、さらに計数や計測を行った。本研究で用いた計量・計数形質については、結果の最初に列記した。

アカメとサバヒの標本は、1995年6月~7月にフィリピン共和国のイロイロにある東南アジア漁業開発センター養殖部局で飼育された仔稚魚である。染色二重透明標本にされて観察に供されたのは、アカメではふ化後31日までの総計155個体（体長1.99~12.69 mm）、サバヒではふ化後42日までの総計210個体（体長3.91~22.42 mm）であった。これらの標本について、基本的にはチャイロマルハタと同様の遊泳と摂餌機能に関する形質の観察を行った。

本研究で使用した標本はすべて東京水産大学水産資料館に以下の番号で登録され保管されている：チャイロマルハタ，MTUF-P(L) 206；アカメ，MTUF-P(L) 204；サバヒ，MTUF-P(L) 202。

結 果

ここでは、成長に続いて、以下の順に遊泳と摂餌に関する形質の成長にともなう変化を記載する。

遊泳に関する形質：脊索末端部の角度の変化，尾骨の発育，尾鰭主鰭条の数の増加，背鰭支持骨の発育と数の増加，背鰭鰭条の数の増加，臀鰭支持骨の発育と数の増加，臀鰭鰭条の数の増加，胸鰭支持骨の発育，胸鰭鰭条の数の増加，腹鰭支持骨の発育，腹鰭鰭条の数の増加，脊椎骨の発育，最大体高とその位置の変化。

摂餌に関する形質：顎骨の発育，口腔を形成する懸垂骨と舌弓，鰓弓（下鰓弓のみ）の発育，鰓蓋骨の発育，顎歯の数の増加，咽頭歯の数の増加，前上顎骨長と上顎長の比の変化，口幅の変化。

なお本研究では、記載はある現象や事象の観察された最小個体の日令に基づくが、原則的には最小個体の体長も併記した。

成長

ふ化後1日目（日令1）の仔魚の体長（平均±標準偏差）は 1.78 ± 0.12 mmで、日令3では 2.22 ± 0.02 mmであった。その後は緩やかに成長し、日令10で 2.55 ± 0.27 mm, 21で 5.61 ± 0.33 mm, 31で 9.07 ± 1.08 mmを記録し、日令35では 14.57 ± 2.16 mmに達した。

遊泳に関する形質

脊索末端部の角度 ふ化から日令15（最大個体の体長は3.44 mm）までの仔魚の脊索後端は

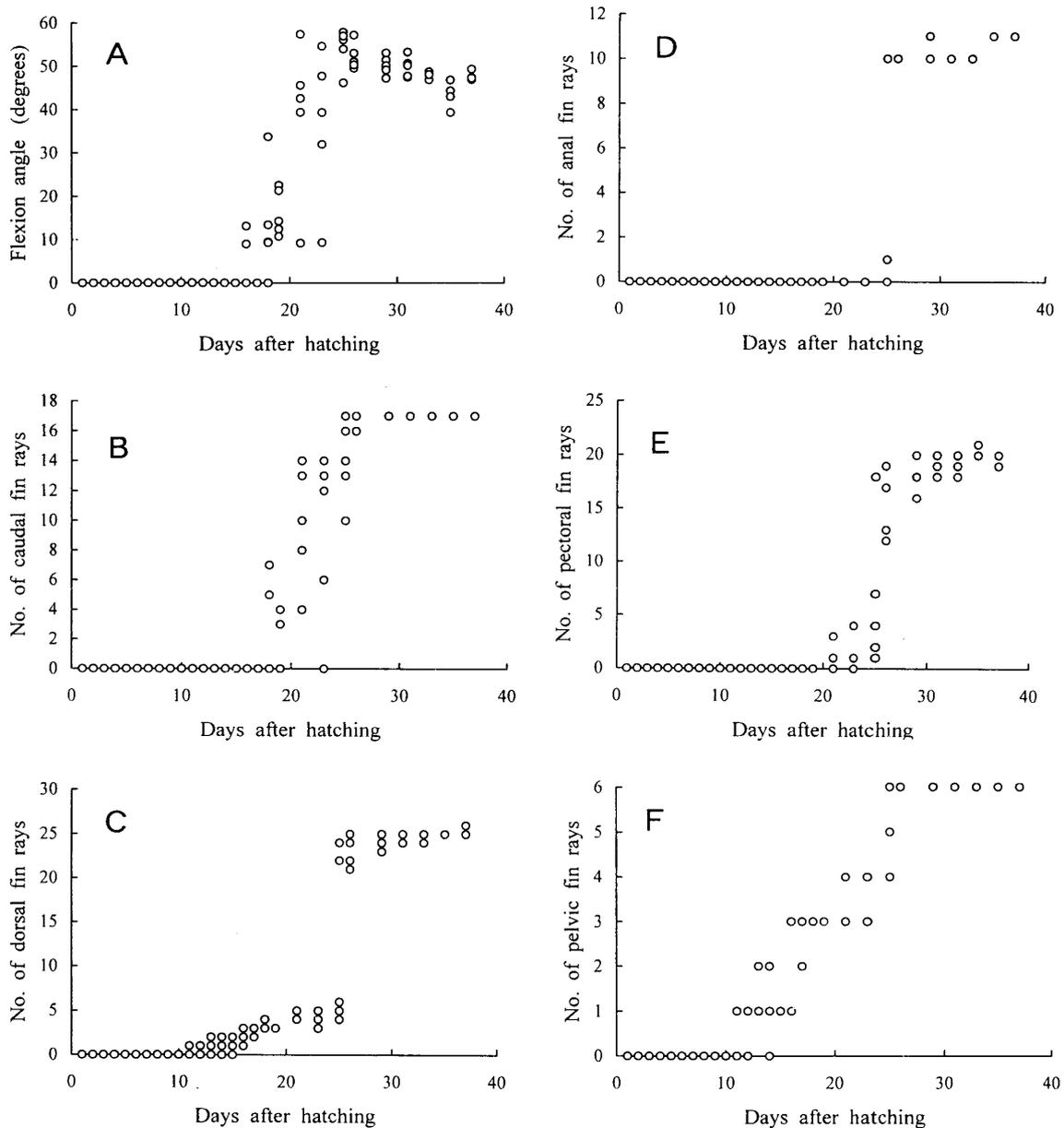


Fig. 1. Changes in swimming-related characters with days after hatching in the grouper, *Epinephelus coioides*. A, flexion angle of notochord end; B, number of caudal fin rays; C, number of dorsal fin rays; D, number of anal fin rays; E, number of pectoral fin rays; F, number of pelvic fin rays.

まっすぐであった。上屈は日令 16 (最小個体の体長は 3.63 mm) から始まった (Fig. 1A)。脊索の末端部が完全に上屈したと判断できたのは日令 25 (最小個体の体長は 5.20 mm) 以降で、その角度は 55 度前後であった。

尾骨 尾骨は以下の構成骨よりなる。尾部棒状骨, 第 2, 3 尾鳍椎前椎体, 第 2, 3 尾鳍椎前椎体神経棘, 第 2, 3 尾鳍椎前椎体血管棘, 下尾骨 1~5, 準下尾骨, 上尾骨 1~3, 尾神経骨。

尾骨構成骨の中で最初に出現するのは下尾骨 1 と 2 で, 日令 16 (体長 4.92 mm) の個体で観察された。次いで, 下尾骨 3 と準下尾骨が日令 18 (5.51 mm) で, 下尾骨 4 が日令 21 (5.54 mm) で, さらに下尾骨 5 が日令 23 (5.77 mm) で出現した。日令 25 の体長 8.06 mm の個体では, 準下尾骨

と下尾骨 1 と 2 が根元で癒合し、さらに下尾骨 1~4 が化骨し始めた。準下尾骨の化骨は日令 26 (8.40 mm) で、下尾骨 5 の化骨は日令 29 (11.80 mm) で見られ、後者では下尾骨の側突起も出現していた。

上尾骨 2 は日令 18 (体長 5.51 mm) で初めて出現し、上尾骨 1 と 3 は日令 21 (5.54 mm) で出現した。第 2, 3 尾鰭椎前椎体の神経弓門軟骨は日令 21 の 6.13 mm の個体で初めて出現した。第 3 尾鰭椎前椎体の神経弓門軟骨の化骨は日令 25 (8.06 mm) で、第 2 尾鰭椎前椎体の神経弓門軟骨の化骨は日令 29 (11.80 mm) で、また上尾骨の化骨は日令 35 (13.13 mm) で認められた。第 2 尾鰭椎前椎体の血管弓門軟骨は日令 18 (5.51 mm) で、また第 3 尾鰭椎前椎体の血管弓門軟骨は日令 21 (5.54 mm) で初めて出現した。これらの軟骨は日令 25 (8.06 mm) で化骨し始めた。また同個体では、第 2, 3 尾鰭椎前椎体と尾部棒状骨も出現していた。尾神経骨が日令 29 (10.87 mm) で出現し、これで尾骨のすべての構成骨が出現した。尾骨を構成する軟骨がすべて化骨し始めたのは日令 35 (13.13 mm) であった。

尾鰭主鰭条 尾鰭主鰭条が初めて出現したのは日令 18 の体長 5.09 mm の個体であった (Fig. 1B)。その後日令 26 (体長 6.53 mm) で定数である 9+8 に達した (Fig. 1B)。

背鰭支持骨 近位担鰭軟骨は日令 11 (3.06 mm) で最初に出現した。日令 14 (体長 4.14 mm) には近位担鰭骨は 3 個になった。近位担鰭骨の化骨は日令 16 (4.97 mm) で始まり、前の 2 個が化骨していた。遠位担鰭骨は、日令 18 (5.09 mm) で 2 個が出現した。近位担鰭骨は後方に向かってその数を増し、日令 25 (8.06 mm) で定数である 24~25 個に達した。また同個体では、遠位担鰭骨も定数に達していた。近位担鰭骨の化骨は後方に向かって進行し、日令 31 (10.93 mm) の個体では半分以上が化骨していた。

背鰭鰭条 第 1 背鰭の第 2 棘が日令 11 (体長 3.06 mm) でまず出現し (Fig. 1C)、成長とともにその長さを増した。第 2 背鰭の軟条は日令 15 (3.44 mm) で前方から出現し始め、後方に向かって数を増した (Fig. 1C)。定数である 11 棘 13~16 軟条には日令 26 (6.67 mm) で達した (Fig. 1C)。

臀鰭支持骨 臀鰭の近位担鰭骨をもつ最小個体は日令 21 の体長 6.13 mm の個体で、4 個の担鰭骨が見られた。近位担鰭骨は後方に向かってその数を増やし、定数の 9 個には日令 25 (8.06 mm) で達した。さらに同個体では、第 1 近位担鰭骨が化骨し始め、遠位担鰭骨も 9 個出現していた。近位担鰭骨の化骨は後方に向かって進行し、日令 31 (10.93 mm) には半分以上の近位担鰭骨が化骨していた。

臀鰭鰭条 臀鰭鰭条は日令 25 (体長 6.63 mm) から出現し始め、定数である 3 棘 8 軟条には日令 29 (7.42 mm) で達した (Fig. 1D)。

胸鰭支持骨 胸鰭支持骨は後側頭骨、上擬鎖骨、擬鎖骨、後擬鎖骨 1 と 2、肩甲骨、烏口骨、射出骨 1~4 からなる。

胸鰭支持骨の中で最初に出現したのは擬鎖骨と烏口-肩甲骨軟骨、射出軟骨板で、これらの構成骨をもつ最小個体は日令 3 の体長 2.18 mm の個体であった。上擬鎖骨と後側頭骨は日令 14 (体長 4.14 mm) で出現した。さらに同個体では、烏口-肩甲骨軟骨の後端は後下方に伸長し、射出軟骨板の中央には 1 つの裂け目が観察された。後擬鎖骨 2 は日令 16 (4.97 mm) で、また同 1 は日令 21 (5.54 mm) で出現した。日令 23 の 5.77 mm の個体では、射出軟骨板の裂け目が 3 つになり、また烏口-肩甲骨軟骨の伸長は止まり、その先端は下方を向いていた。射出軟骨板の裂け目はさらに発達し、日令 25 (6.63 mm) には射出骨は中央で 2 つに分かれていた。同個体では、肩甲骨孔と 1 個

の遠位担鰭骨が出現しており、さらに後側頭骨と上擬鎖骨には鋸歯縁をもつ隆起が発達していた。射出骨は日令 25 (8.06 mm) で 4 分割した。肩甲骨は日令 29 (11.80 mm) で、烏口骨は日令 35 (13.04 mm) で化骨が始まった。射出骨 1 は日令 29 (10.87 mm) で、また射出骨 2~4 は日令 35 (14.46 mm) で化骨が始まった。また、後者では遠位担鰭骨はすべて出現していた。

胸鰭鰭条 胸鰭鰭条は日令 21 (5.23 mm) で出現し、定数である 18~20 には日令 35 (13.04 mm) で達した (Fig. 1E)。

腹鰭支持骨 軟骨の腰帯は日令 10 (2.96 mm) で最初に見られた。成長とともに、三角形から、より太く湾曲した形となった。化骨は日令 16 (4.92 mm) で最初に確認され、日令 18 (5.09 mm) では遠位担鰭骨が 1 個出現した。その後化骨域は広がり、腰帯は前後に長くなり、日令 31 (9.07 mm) では 2 個目の遠位担鰭骨が出現した。

腹鰭鰭条 日令 11 (3.06 mm) で棘条が最初に出現し、最初の軟条は日令 13 (3.81 mm) で見られた (Fig. 1F)。定数である 1 棘 5 軟条には日令 25 (8.06 mm) で達した (Fig. 1F)。

脊椎骨 脊椎骨数は $10+14=24$ である。脊椎骨の構成要素のうち、最初に出現したのは第 1~4 神経弓門軟骨で、日令 14 (体長 4.14 mm) で見られた。神経弓門軟骨および神経棘軟骨は後方に向かってその数を増し、日令 16 (4.92 mm) では第 1~20 の神経弓門軟骨と神経棘軟骨が出現し、日令 23 (5.54 mm) ではすべての神経弓門軟骨と神経棘軟骨が認められた。日令 23 の体長 5.38 mm の個体では、第 1~5 神経弓門軟骨と神経棘軟骨の化骨が起こっていた。化骨は後方に向かって進行し、日令 31 (10.93 mm) ではすべての神経弓門軟骨と神経棘軟骨が化骨していた。

一方、日令 17 (4.52 mm) で第 1~8 血管弓門軟骨が出現した。血管弓門軟骨と血管棘軟骨は後方に向かってその数を増やし、日令 23 (5.54 mm) の個体ではすべての血管弓門軟骨と血管棘軟骨が認められた。日令 23 の 5.77 mm の個体では第 1~14 の血管弓門軟骨と血管棘軟骨が化骨し始めていた。化骨は後方に向かって進行し、日令 25 (8.06 mm) ではすべての血管弓門軟骨と血管棘軟骨が化骨していた。

日令 23 の 5.38 mm の個体で初めて、第 1, 第 2 椎体が出現した。椎体は後方に向かってその数を増やし、日令 25 (8.06 mm) ではすべての椎体が出現していた。

最初に出現した肋骨は 4 本で、日令 29 (8.73 mm) で最初に見られた。肋骨は後方に向かって数を増し、日令 37 (17.77 mm) ではその数は 8 本になっていた。

最大体高 日令 1 の最大体高 (平均 ± 標準偏差) は 0.19 ± 0.02 mm で、日令 3 では 0.54 ± 0.02 mm であった (Fig. 2)。最大体高は緩やかに増加し、日令 10 には 0.78 ± 0.11 mm, 日令 21 には 1.75 ± 0.15 mm となった。その後やや急に成長し、日令 35 には 5.05 ± 0.83 mm に達した。

最大体高の位置 ふ化から日令 15 までの仔魚の最大体高は頭部にあり、吻端からの距離も 0.5 mm 未満であった (Fig. 2)。日令 13 から 25 にかけて最大体高の位置は鰓蓋部に移動し、それにともなって距離も 1~3 mm に増加した (Fig. 2)。日令 25 から 35 では肩帯部に移り距離も 3~5 mm となり、さらに日令 35 以降は体幹前方部に移動した (Fig. 2)。

摂餌に関する形質

上顎 開口は日令 3 で、同時に主上顎骨も出現した。主上顎骨をもつ最小の個体は日令 3 の体長 2.21 mm の個体で、出現当初は細長く湾曲し、前端部と後端部がややふくらんでいた。前上顎骨は日令 13 (体長 3.81 mm) で初めて出現し、成長にともなって、口裂から主上顎骨を排除するように下方に向かって伸長した。日令 17 の体長 4.24 mm の個体では、主上顎骨の下 3 分の 2 が

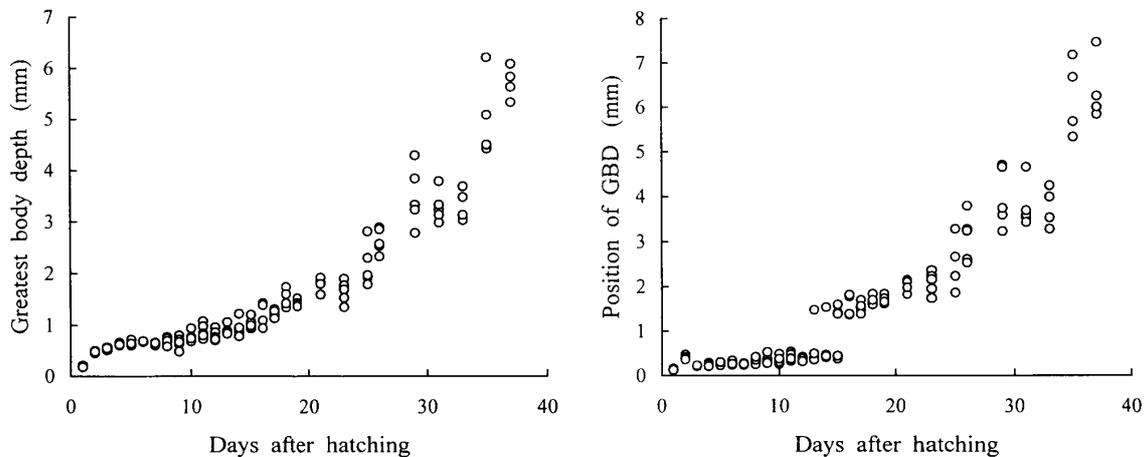


Fig. 2. Changes in the greatest body depth (GBD; left) and its position measured from the tip of snout to the position of GBD (right) with days after hatching in the grouper, *Epinephelus coioides*.

大きくふくらみ、前端の3突起（主上顎骨翼，神経頭蓋翼，口蓋骨翼）が形成されていた。また、日令 23 (5.77 mm) では前上顎骨の主上顎骨関節突起が形成され，上向突起も発達していた。

下顎 下顎を構成する要素で最初に出現したのはメッケル軟骨で，日令 3 の体長 2.21 mm の個体が最小であった。メッケル軟骨のまわりに歯骨と角骨が出現したのは日令 10 (体長 2.96 mm) であった。日令 17 の 4.24 mm の個体では，メッケル軟骨の後方に前上方に向かう突起が発達し，さらに歯骨は幅広くなっていた。後関節骨は日令 23 (5.77 mm) で認められた。日令 35 (17.66 mm) では，下顎は前後方向にも伸長し，歯骨前部には比較的大きな神経孔が形成されていた。

懸垂骨 日令 3 (体長 2.21 mm) で最初の懸垂骨である棒状の舌顎-接続軟骨と方形-後翼状軟骨が認められた。日令 13 (3.81 mm) には口蓋軟骨が出現し，さらに口蓋軟骨と方形-後翼状軟骨が一つとなって三角形の軟骨板を形成していた。日令 16 (4.92 mm) では，舌顎骨と接続骨，方形骨の化骨が始まっていた。日令 18 (5.51 mm) までに膜骨である外翼状骨と内翼状骨が出現した。日令 25 (8.06 mm) には口蓋骨と後翼状骨の化骨が始まった。その後，各構成要素の化骨域は広がり，日令 31 (8.40 mm) では，方形骨の後端部が伸長して接続骨の先端部を覆うようになり，舌顎骨の上部には3つの関節部が形成された。

舌弓 日令 2 の体長 2.21 mm の個体で，下舌軟骨と角舌-上舌軟骨，間舌軟骨が認められた。日令 13 (体長 3.81 mm) で，角舌-上舌軟骨の中央からやや前方部で角舌骨の化骨が始まり，さらに鰓条骨も3本出現した。日令 16 (4.97 mm) では下舌骨が，また日令 18 (5.51 mm) では上舌骨と間舌骨が化骨し始めた。日令 19 (5.17 mm) で基舌軟骨が出現した。日令 25 (8.06 mm) では，各構成要素の化骨がすすみ，また鰓条骨も7個を数えた。

鰓弓 本研究では，口腔の下床を形成し，摂餌時に口腔内に陰圧を生じさせるために重要な役割りを果たす下鰓弓の観察を行った。

最初に出現した下鰓弓の構成要素は基鰓軟骨 1~3 と下鰓軟骨 1，角鰓軟骨の 1 と 2 で，日令 2 の体長 2.21 mm の個体で初めて認められた。日令 4 (体長 2.24 mm) には下鰓軟骨 2 と 3 および角鰓軟骨 3 と 4 が，さらに日令 12 (3.18 mm) には角鰓軟骨 5 が出現した。日令 14 (4.14 mm) で基鰓軟骨の後方に分離した小軟骨片が出現した。日令 18 の体長 5.51 mm の個体で初めて角鰓軟骨

1~4の化骨が見られた。一方、日令18の5.63 mmの個体では角鰓軟骨5の化骨が始まった。日令25(8.06 mm)では基鰓軟骨3が、また日令26(8.40 mm)では下鰓軟骨1~3が化骨し始めた。日令29の10.87 mmの個体では、鰓弓を構成するすべての軟骨で化骨が始まっていた。

鰓蓋骨 日令10(体長2.96 mm)で主鰓蓋骨が認められた。前鰓蓋骨, 下鰓蓋骨および間鰓蓋骨はそれぞれ日令13(3.81 mm), 14(4.14 mm), 16(4.97 mm)で初めて出現した。前鰓蓋骨の棘は日令16の体長4.97 mmの個体で2本であったが, 日令25(8.06 mm)では3本になり, とくにそのうちの隅角部に位置する大きな棘は縁辺に鋸歯を備えていた。

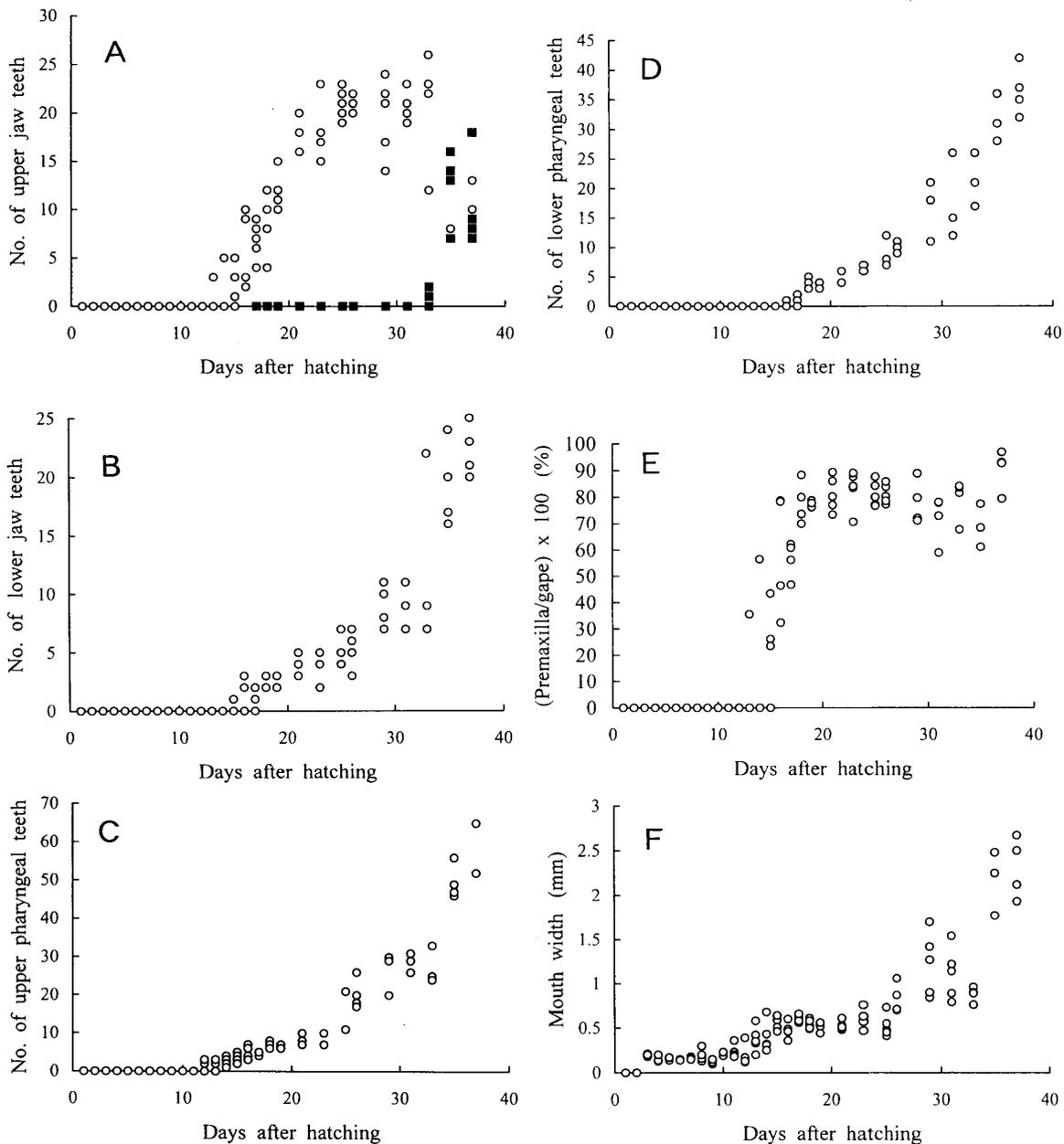


Fig. 3. Changes in feeding-related characters with days after hatching in the grouper, *Epinephelus coioides*. A, number of upper jaw teeth (○, membranous teeth; ■, conical teeth); B, number of lower jaw teeth; C, number of upper pharyngeal teeth; D, number of lower pharyngeal teeth; E, ratio of premaxilla to gape; F, mouth width.

上顎歯 前上顎骨に出現する上顎歯は、まずうすい骨膜状の歯で、次いで円錐歯に置き換わった。骨膜状歯が出現したのは日令 13 (体長 2.90 mm) で、2.90~2.81 mm の 5 個体の平均は 0.6 本であった (Fig. 3A)。日令 25 と 26 (5.20~8.40 mm) には骨膜状歯の数は最多になり、平均で 21 本を数えた。その後、徐々に歯の数は減少し、日令 35 (13.13~17.66 mm) には平均で 9.3 本になった。一方、円錐歯は日令 33 (8.13~10.40 mm) で出現し始め、平均で 0.8 本であった (Fig. 3A)。その後円錐歯の数は増え、日令 35 には平均で 12.5 本に達した。

下顎歯 下顎には、上顎とは異なり、骨膜状の歯は出現しなかった。下顎歯は日令 15 (体長 2.90~3.44 mm) で初めて出現し、その数は平均で 0.3 本であった (Fig. 3B)。仔魚の成長とともに数も増え、平均歯数は日令 21 (5.23~6.13 mm) で 4.0 本、日令 35 (13.13~17.66 mm) で 15.3 本であった (Fig. 3B)。

上咽頭歯 上咽頭歯は日令 12 (2.77~3.18 mm) で平均 1.0 本が出現した (Fig. 3C)。成長とともにその数を増し、日令 21 (5.23~6.13 mm) で平均 8.3 本、日令 35 (13.13~17.66 mm) で平均 49.0 本になった (Fig. 3C)。

下咽頭歯 下咽頭歯は日令 16 (3.63~4.97 mm) で出現し、平均は 0.7 本であった (Fig. 3D)。さらに、日令 21 (5.23~6.13 mm) で平均 3.3 本、日令 35 (13.13~17.66 mm) で平均 31.3 本と、成長とともに増加した (Fig. 3D)。

前上顎骨長/上顎長 前上顎骨が出現した日令 13 (体長 2.90~2.81 mm) では、前上顎骨長が上顎長に占める割合は平均 7.11% であった (Fig. 3E)。この割合は急増し、日令 16 (3.63~4.97 mm) で平均 59.0%、日令 21 (5.23~6.13 mm) で 81.2% となり、日令 21 以降は 75~80% でほぼ一定となった (Fig. 3E)。

口幅 開口時 (日令 3) の口幅の平均±標準偏差は 0.20 ± 0.01 mm であった (Fig. 3F)。開口後も口幅はあまり成長せず、日令 10 で 0.21 ± 0.02 mm であった (Fig. 3F)。その後はやや緩やかに成長し、日令 21 で 0.52 ± 0.05 mm、日令 35 で 2.06 ± 0.36 mm に達した (Fig. 3F)。

論 議

機能の発達からみたチャイロマルハタ仔魚の発育段階

遊泳機能 ふ化から 9 日目までに出現した遊泳に関する形質は、胸鰭の擬鎖骨と烏口-肩甲軟骨、射出軟骨板だけであった (Fig. 4)。したがって、この段階では遊泳能力はかなり低いと考えられる (ただし擬鎖骨の働きについては摂餌の項で説明する)。とくに卵黄嚢を持ち、摂餌を開始していない仔魚では、遊泳というよりも単に浮遊しているだけで、時折体全体を使って移動するものと考えられる。Supriatna and Kohno (1990) によると、アカマダラハタ仔魚では、ふ化後 9 日までに、積極的な遊泳ではないけれども、浮遊しながらも徐々に姿勢を整えとともに体全体を使った移動が目立ち始めるという。いずれにしても、この時期の仔魚は遊泳運動と休息とを交互にくり返し (岩井, 1972)、しかも遊泳運動は短時間の突進的遊泳 (松岡, 1991) に限られているものと考えられる。

次いで日令 10, 11 になると、背鰭と腹鰭の支持骨、さらに第 2 背鰭棘と腹鰭棘が出現する (Fig. 4)。この形質はハタ科魚類の特徴の一つとされ、さらに、棘条の鋸歯の形は種の査定に利用されている (Johnson and Keener, 1984; Kohno *et al.*, 1993)。また機能面では、捕食者に対する防御や、浮遊機構となることが考えられている (Moser, 1981)。しかし、この段階の発育程度では、

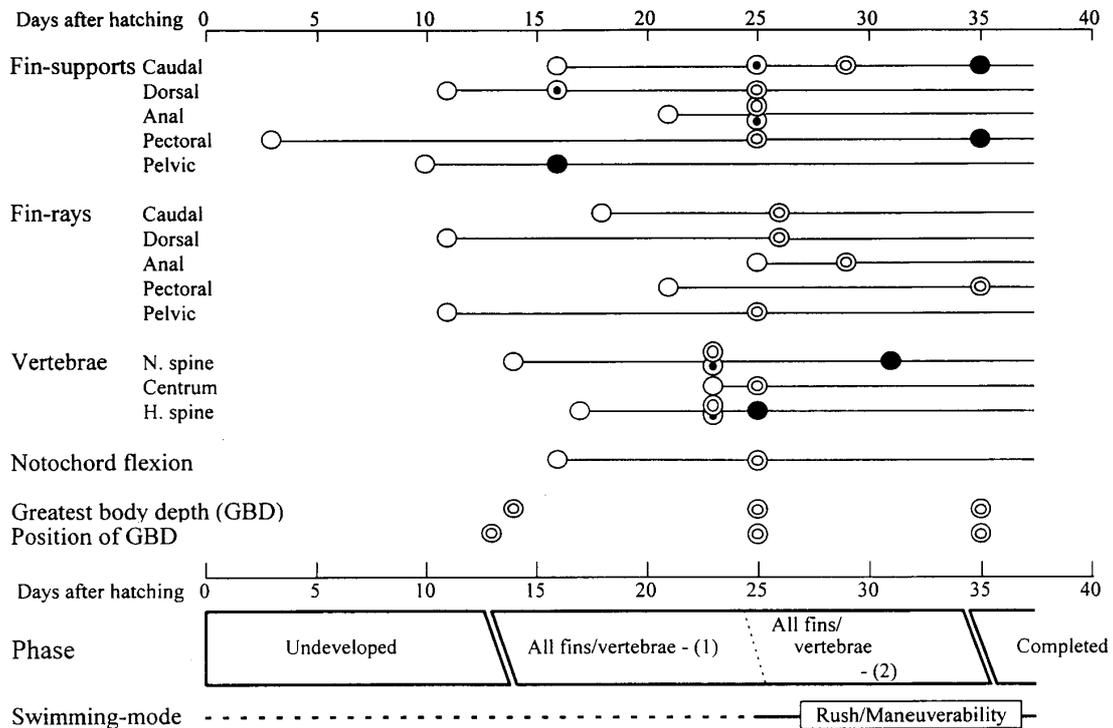


Fig. 4. Schematic representation of the development of swimming-related characters with days after hatching in the grouper, *Epinephelus coioides*. ○, cartilaginous and/or bony elements start appearing; ⊙, appearance of all elements, completion of numbers of fin rays and vertebrae, or flexion points in proportions; ⊚, ossification of cartilaginous elements; ●, all cartilaginous elements start ossifying. Developmental phases and swimming modes are also shown in the bottom.

機能的にも、また種の査定という面でも、その重要性はかなり低いと考えられる。

日令 13 から 26 にかけてはさまざまな変化が見られるが (Fig. 4), この期間は Kendall *et al.* (1984) の flexion larva (上屈仔魚) に相当する。すなわち、脊索末端の上屈が日令 16 から始まり同 25 には完成した。

この期間中に、鰭の支持骨はほぼすべてが出現し、また化骨し始め、鰭条数も臀鰭と胸鰭以外は定数に達する。さらに脊椎骨を構成する要素もすべてが定数に達し、化骨も始まる。背鰭と臀鰭の鰭条は前進運動にともなう横揺れを防ぐことから、これらの発現は前進運動能力の向上を示し (Gosline, 1971), 胸鰭と腹鰭からなる対鰭の発達は、操縦性の向上を示す (Lagler *et al.*, 1977; Matsuoka, 1987)。また、尾鰭と脊椎骨の発達は、尾鰭の振動で得る推進力を脊椎骨で体軸に沿って後方に伝え、さらに前進する能力を増すことを示す (Gosline, 1971; Omori *et al.*, 1996)。日令 13 で見られる最大体高の位置の頭部から鰓蓋部への移動も、やはり前進する能力の増加を示している (Alev, 1963; Kohno *et al.*, 1983, 1984)。

このように、遊泳に関する多くの形質は日令 13 から 26 の、ほぼ二週間をかけてゆっくりと発達するが、これらの形質が機能的になるのは日令 26 以降である。しかも、垂直鰭である背鰭、尾鰭、臀鰭や脊椎骨だけではなく、胸鰭や腹鰭もほぼ同時に完成することから、突進型と操縦性が同時に、しかも徐々に発達すると考えられる。

そして、日令 30 から 35 にかけて、すべての遊泳に関する形質が定数になり、また化骨も開始

することから、稚魚としての遊泳能力がほぼ獲得されたと判断される (Fig. 4)。なお、鰭条数がすべて定数に達し、鰭の分化という観点 (沖山, 1979) から、稚魚になるのは日令 35 (体長 13.04 mm) であった。

以上の結果に基づき、本研究では、チャイロマルハタ仔魚の遊泳の機能発育を大きく 3 段階に分けた (Fig. 4)。1) ほとんど遊泳能力はなく、浮遊している段階 (未発達期: ふ化から日令 13 まで)。2) すべての鰭がゆっくりと出現、発達し、突進能力と操縦性を兼ね備える段階 (全鰭出現期: 日令 14 から 34 まで)。この段階は、さらに、日令 25 前後で前期と後期に分けられる。3) 稚魚としての遊泳能力がほぼ獲得される段階 (完成期: 日令 35 以降)。

摂餌機能 開口時 (日令 3) には、摂餌機能に関する形質として、主上顎骨とメッケル軟骨、および懸垂骨の一部と舌弓、鰓弓の軟骨原基が認められた (Fig. 5)。摂餌の開始時 (日令 3: Ordonio-Aguilar *et al.*, 1995) から日令 10 までは、特別な摂餌機能はなく、単に開口し、遭遇した餌生物を呑み込むだけであると判断される。なお、発育初期 (日令 3) に出現する擬鎖骨の前下方への動きが、餌生物の嚥下を容易にさせると考えられている (Gosline, 1977)。

日令 10 から 21 にかけては、多くの形質の出現や構成要素の完成がみられた。まず日令 10 には下顎構成骨と主鰓蓋骨が出現し、日令 15 前後には前上顎骨と上下顎歯 (ただし上顎歯は骨膜状歯)、上下咽頭歯、前・下・間鰓蓋骨が出現し、懸垂骨と舌弓、下鰓弓の一部が化骨し始めていた

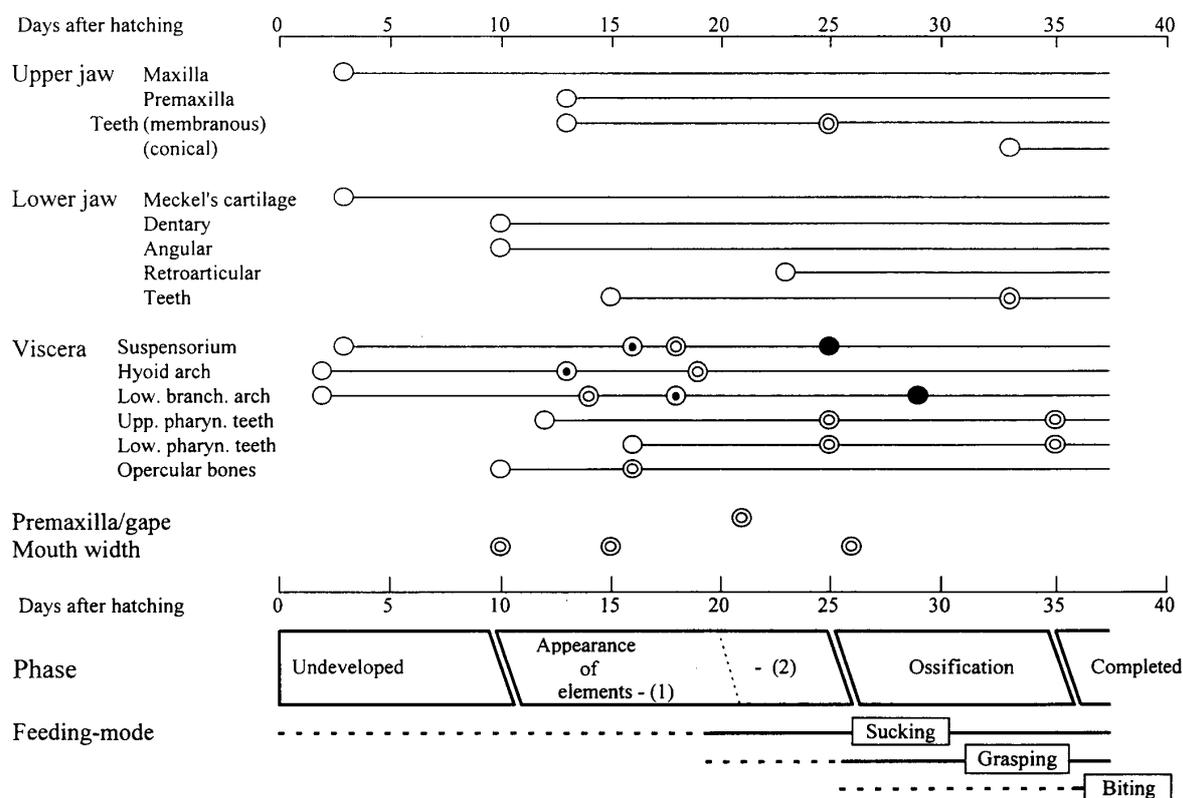


Fig. 5. Schematic representation of the development of feeding-related characters with days after hatching in the grouper, *Epinephelus coioides*. ○, cartilaginous and/or bony elements start appearing; ⊙, appearance of all elements and flexion points in numbers of teeth and proportions; ⊗, ossification of cartilaginous elements; ●, all cartilaginous elements start ossifying. Developmental phases and feeding modes are also shown in the bottom.

(Fig. 5)。日令 20 前後までの仔魚は、これらの口腔を形成する基本的な要素を使って、口腔内に陰圧を生じさせ、その吸い込む力で餌生物を呑み込んでいると考えられる。そのメカニズムは Gosline (1971) や Otten (1982), Kohno *et al.* (1996a) などによって解明されている。とくに口腔を拡張する運動に必要な胸舌骨筋は、発育初期に出現する擬鎖骨の下方に付着する。しかし摂餌関連骨格から判断すると、Kohno *et al.* (1997) も指摘しているように、この段階での陰圧はまだ低く、したがって摂餌能力もかなり低いものと推定される。

日令 21 には前上顎骨の上顎長に占める割合が一定となった。これは、口がより機能的に開閉できることを示す (Gosline, 1971; Kohno *et al.*, 1983, 1984)。さらに、同時期に懸垂骨と舌弓、下鰓弓の構成骨がすべて出現していた。これらの骨要素は、Gosline (1971) が指摘しているように、口腔を側・下方に拡張し、より強い吸い込み力を生み出す。これらのことから、日令 20 以降は、仔魚は口と口腔を広げる能力をさらに増加し、効率よく餌生物を吸い込むようになるものと考えられる。また、骨膜状の歯の数も増加していることから、強力ではないにしても、顎の力で餌を引っ掛ける能力もあると判断できる。

懸垂骨と舌弓、鰓弓の全構成骨が化骨を開始したのは日令 25~29 で、この時期には咽頭歯数も急増し、また口幅も急激に大きくなった (Fig. 5)。Gosline (1971) によると、咽頭歯には、捕らえた餌生物をしっかりと確保することと、食道に送り込む働きがある。また口幅の大きさは食べられる餌生物の大きさを規定する (Hunter, 1981)。したがって、この段階には、吸い込みの能力が増すとともに、より大きな餌生物を捕らえられるようになり、しかも一度捕らえた餌生物を咽頭歯でしっかりとくわえ込む能力が備わったことを示す。

下顎歯の急増が日令 33 でみられ、また上顎では骨膜状の歯が円錐歯に取って代わられた (Fig. 5)。この異質な歯の交代はアカメでも報告されている (Kohno *et al.*, 1994b)。さらに日令 35 には上下の咽頭歯数が急増した。これは噛み付き能力の急激な発達を示し (Gosline, 1971)、これ以降には、稚魚としての摂餌能力がほぼ獲得されたと考えられる。

以上の結果から、チャイロマルハタ仔魚の摂餌の機能発育を以下の 4 段階に分けた (Fig. 5)。
1) ほとんど摂餌能力はなく、単に開口して餌生物をほぼ偶発的に捕らえる段階 (未発達期: ふ化から日令 9 まで)。2) 口腔を形成する主な形質の出現で吸い込み摂餌が可能となり、さらに口腔を構成するすべての要素が出現することで、その能力が増す段階 (形質出現期: 日令 10 から 25 まで)。さらにこの段階は、吸い込み能力によって、日令 20 で前期と後期に分けられる。3) 咽頭歯の数の増加と口腔の構成骨の化骨によって、吸い込み能力が増し、さらにくわえ込む能力の備わる段階 (化骨期: 日令 26 から 34 まで)。4) 顎歯数の増加や円錐歯の出現により、噛み付き能力が増し、稚魚としての摂餌能力が獲得される段階 (完成期: 日令 35 以降)。なお、頻繁な共食いは日令 35~40 で観察されている (Doi *et al.*, 1991)。

チャイロマルハタとアカメ、サバヒーとの発育段階の比較

アカメとサバヒーの発育段階 本研究で行ったアカメとサバヒーの仔魚の遊泳と摂餌に関する形質の発達に基づくと、各々の発育段階は以下のように分けられる (Fig. 6)。

まずアカメの仔魚では、遊泳も摂餌も未発達な状態が日令 3~4 まで続く。日令 8 までの仔魚の口腔を囲む構成骨の発達を詳細に記載した Kohno *et al.* (1996a) は、日令 3~5 の移行期を経て、仔魚の摂餌能力が発達すると指摘している。上屈仔魚は日令 7 から 11 の短期間に認められた。その後日令 11~13 にかけては、尾鰭と脊椎骨、不對鰭が形成され、尾鰭の振動による推進力を体軸

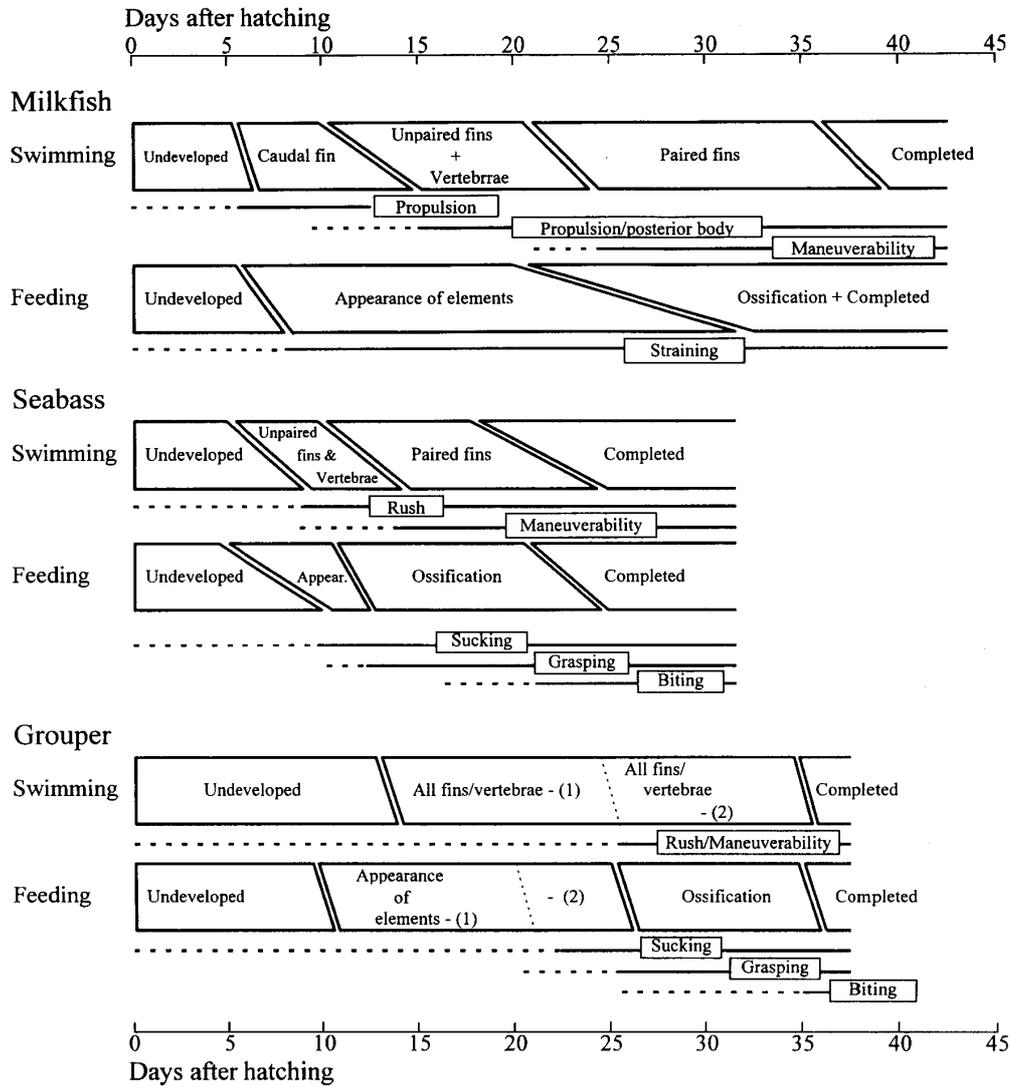


Fig. 6. Changes in developmental phases and swimming and feeding modes with days after hatching in the grouper, *Epinephelus coioides*, milkfish, *Chanos chanos*, and seabass, *Lates calcarifer*.

に沿って後方へ伝達する突進的遊泳が発達する。この期間には、口腔を形成する基本的な要素に加えて前上顎骨や下顎の構成骨、顎歯、上咽頭歯などが出現し、それによって、吸い込み能力の増加とともに、くわえ込み型の捕獲能力も発現する。Anonymous (1986) や Parazo *et al.* (1990) によると、共食いをするのは日令 12~15 である。さらに日令 17~19 にかけて、対鰭が発達することで突進的遊泳に加えて操縦性が増すとともに、顎に円錐歯が出現し口腔構成骨の骨化化によって吸い込み能力とくわえ込み能力が向上する。日令 20 を過ぎると、稚魚としての遊泳能力が発達し、顎歯の増加や口幅の増大によって、噛み付き能力も備わると考えられる。なお、すべての鰭条数が定数に達し、稚魚となったのは日令 26 であった。

サバヒーの仔魚も、日令 5~6 までは遊泳も摂餌も未発達な状態である。日令 8 までの仔魚の口腔の発育過程を詳細に記載した Kohno *et al.* (1996b) は、サバヒー仔魚の摂餌様式はアカメとは異なり吸い取り方式で、日令 6~7 にかけて、摂餌様式の変化はないものの、摂餌能力が改善され

るとしている。上屈仔魚は日令7から10で認められた。その後、日令10にかけては尾鰭だけが、またその後は不對鰭と脊椎骨が発達する。これは、サバヒー仔魚のいわゆるシラス型の体型をうまく利用した遊泳様式と考えられ、まず尾鰭と細長い体を使って定位あるいは前進する能力を獲得し、さらに不對鰭と脊椎骨で推進力を体軸に沿って後方に伝達し、より高い前進能力を得ているものと考えられる。Liao *et al.* (1979) は日令14~15で遊泳行動に変化の現れることを報告している。さらにこの間(日令6~18)、摂餌に関する形質としては、口腔を形成する基本的な要素がゆっくりと出現、発達した。シラス型の遊泳様式と摂餌に関する形質の特異な形やその発達様式(Kohno *et al.*, 1996b)とを考慮すると、この時期のサバヒーの仔魚は、口を開いたまま遊泳し、餌生物を吸い取るという摂餌をしていると考えられる。またサバヒーには、顎歯も咽頭歯も出現しないという特徴もある。日令20から35にかけては、対鰭が発達して操縦性が増すとともに、摂餌に関する形質が徐々に化骨して吸い取り能力も増す。そして、それ以降になると稚魚としての遊泳・摂餌能力を備えるものと考えられる。森岡(1992)によると、日令35頃から水槽の底を遊泳し始める。さらにTaki *et al.* (1987) は日令30前後で食性が変化することを指摘している。なお、日令39ですべての鰭条数が定数に達し、稚魚になった。

発育段階の比較 本研究で調査したチャイロマルハタとアカメ、サバヒーの遊泳・摂餌様式は、前二者と後者に大別できる(Fig. 6)。すなわちチャイロマルハタとアカメでは突進・操縦型遊泳-吸い込み・くわえ込み・噛み付き型摂餌なのに対して、サバヒーでは尾鰭・体全体前進型遊泳-吸い取り型摂餌である。とくに摂餌様式の違いについては、初期仔魚についてはあるが、Kohno *et al.* (1996a, b, 1997) が詳細な形態学的比較を行っている。またサバヒー仔魚の特異性については、核酸や体成分の観点から、Morioka *et al.* (1996) や Ordonio-Aguilar (1994) によって説明されている。したがって、以下では同じ遊泳・摂餌タイプであるチャイロマルハタとアカメの比較を行うことで、前者の種特性を明らかにする(Fig. 6を参照)。

まず遊泳器官の出現はアカメでは日令5からであるのに対して、チャイロマルハタでは日令14からと、かなり遅れる。しかも、アカメでは日令5~13には尾鰭と脊椎骨、不對鰭が、また14~17には対鰭が出現し、まず突進遊泳、次いで操縦性が発達し、稚魚としての遊泳能力を備えるのも日令18以降と、かなり早く発達する。一方、チャイロマルハタでは日令14から、尾鰭と脊椎骨、不對鰭さらには対鰭が同時に出現することから、突進遊泳と操縦性が同時に、しかもかなりゆっくりと発達し、稚魚としての遊泳能力を備えるのも日令35を過ぎてからである。ただし、チャイロマルハタで見られたような、第2背鰭棘や腹鰭棘のような特殊な構造はアカメでは見られなかった。

アカメでは日令4から、チャイロマルハタでは日令10から、口腔の基本的な要素に加えているような形質が出現し始める。その後両種とも、成長にともなって、摂餌様式は吸い込み、吸い込み+くわえ込み、さらに吸い込み+くわえ込み+噛み付き(=稚魚の能力の獲得)と、全く別のものに変化するのではなく、新しい様式が加わることによって摂餌能力が向上する。しかし、その新しい様式が加わる時機がアカメでは日令12と20なのに対して、チャイロマルハタでは日令26と35と、かなり遅れる。

ところで、Kohno *et al.* (1994a) は初期仔魚のアカマダラハタとアカメ、サバヒー、ゴマアイゴの4種の生物学的特性を比較した結果、アカメ型(アカメとゴマアイゴ)とサバヒー型に分け、これら両型が、生残のための戦略はちがうものの、うまく初期の大量死亡の時期を乗り切ってい

るとした。しかし、アカマダラハタについてはこのどちらの型にもあてはまらず、全体的に生残には不利な特性をもっていると指摘している。また、Ordonio-Aguilar *et al.* (1995) はほぼ同じ生物学的特性をチャイロマルハタの仔魚について調べ、アカマダラハタとほぼ同様の結果を得、生残には不利であるとしている。さらに、Kohno *et al.* (1996a, b, 1997) は摂餌、とくに口腔を形成する要素の骨学的発達をチャイロマルハタとアカメ、サバヒーで比較し、アカメ型（前2種）とサバヒー型とに区別した。その上で、アカメとサバヒーは、摂餌様式は異なるものの、両種とも摂餌能力は高いと判断した。しかし、アカメ型に属するチャイロマルハタでは、摂餌関連骨格の発達がかかなり遅く生残には不利であることを指摘した。

本研究では、これらの研究の対象期間をさらに仔魚期全体にまで拡大し、チャイロマルハタ仔魚の遊泳・摂餌機能の發育をアカメ、サバヒーと比較した。その結果、チャイロマルハタの遊泳・摂餌機能はアカメ型に属し、サバヒー型ではないことが判明した。さらに同じ遊泳・摂餌型であるアカメとの比較の結果、チャイロマルハタ仔魚の發育には以下のような特徴が認められた。

- 1) チャイロマルハタの遊泳・摂餌機能に関する形質の発現時機は、アカメに比べると、かなり遅かった。
- 2) 遊泳機能に関しては、チャイロマルハタでは尾鰭、脊椎骨、不對鰭、對鰭が同時に発現し、しかも時間をかけてゆっくりと発達した。それに対して、アカメでは短期間に、まず尾鰭と脊椎骨、不對鰭が出現、発達して突進的遊泳をし、次いで對鰭が発達することで操縦性を備えるという機能的發育が認められた。
- 3) 摂餌機能の發育でも、摂餌様式の添加の時機を比べると、チャイロマルハタではかなり遅かった。
- 4) 稚魚としての遊泳・摂餌能力を獲得するのは、アカメでは日令 18~20 であるのに対して、チャイロマルハタではかなり遅く、日令 34~35 であった。
- 5) 一方、鰭の分化からみた仔魚から稚魚への変化は、アカメでは機能的に稚魚になる時機よりも遅く日令 26 であるのに対し、チャイロマルハタでは機能的稚魚とほぼ同じ日令 35 であった。

これらの特徴は、明らかに仔魚の生残には不利であると考えられ、このような特性がチャイロマルハタの初期飼育を難しくしている一因であると結論された。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、適切な指導と助言をいただいた東京水産大学魚類学研究室の多紀保彦名誉教授に厚くお礼申し上げます。また材料を提供していただいた土居正典博士と東南アジア漁業開発センター養殖部局の Ms. Marietta Duray をはじめとする研究者の方たちに感謝する。

文 献

- Aleev, Y. G. 1963. Function and gross morphology in fish. Transl. edn. from Russian by M. Raveh, 1969. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations. iv+268 pp.
- Anonymous. 1986. Technical manual for seed production of seabass. Thailand, National Institute of Coastal Aquaculture, Kao Seng, Songkhla. 49 pp.
- Doi, M., Munir, M. N., Nik Razali, N. L. and Zulkifli, T. 1991. Artificial propagation of the grouper, *Epinephelus*

- suillus* at the marine finfish hatchery in Tanjong Demong, Terengganu, Malaysia. Malaysia, Kertas Pengembangan Perikanan, No. 167, Dept. of Fish. 41 pp.
- Gosline, W. A. 1971. Functional morphology and classification of teleostean fishes. Honolulu, University Press of Hawaii. 208 pp.
- Gosline, W. A. 1977. The structure and function of the dermal pectoral girdle in bony fishes with particular reference to ostariophysines. *J. Zool., London*, **183**: 329-338.
- 細谷和海. 1992. 魚類の骨格形成と摂餌・運動能力の発達. 平成3年度栽培漁業技術研修事業基礎理論コース 仔稚魚期の発育シリーズ No. 3. 水産庁. 18 pp.
- Hunter, J. R. 1981. Feeding ecology and predation of marine fish larvae. In: Lasker, R. (ed.) *Marine fish larvae*. Washington Sea Grant Program. pp. 33-77.
- 岩井 保. 1972. 仔魚の摂食について. *うみ*, **10**: 71-82.
- Johnson, G. D. and Keener, P. 1984. Aid to identification of American grouper larvae. *Bull. Mar. Sci.*, **34**: 106-134.
- 勝山明里. 1989. アジ科魚類2種の仔稚魚期の摂餌, 遊泳器官の発達と種苗生産上の問題点-I. ブリ. 栽培技術研, **18**: 65-82.
- Kendall, A. W., Jr. Ahlstrom, E. H. and Moser, H. G. 1984. Early life history stages of fishes and their characters. In: H. G. Moser, Richards, W. J., Cohen, D. M., Fahay, M. P., Kendall, A. W., Jr. and Richardson, S. L. (eds.) *Ontogeny and Systematics of fishes*. Am. Soc. Ichthyol. Herpetol., Spec. Publ., No. 1. pp. 11-22.
- Kohno, H., Taki, Y., Ogasawara, Y., Shirojo, Y., Taketomi, M. and Inoue, M. 1983. Development of swimming and feeding functions in larval *Pagrus major*. *Japan. J. Ichthyol.*, **30**: 47-60.
- Kohno, H., Shimizu, M. and Nose, Y. 1984. Morphological aspects of the development of swimming and feeding functions in larval *Scomber japonicus*. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **52**: 1719-1725.
- Kohno, H., Duray, M. and Juario, J. 1988. State of grouper (*Lapu-lapu*) culture in the Philippines. *SEAFDEC Asian Aquaculture*, **10**(2): 4-9.
- Kohno, H., Diani, S. and Supriatna, A. 1993. Morphological development of larval and juvenile grouper, *Epinephelus fuscoguttatus*. *Japan. J. Ichthyol.*, **40**: 307-316.
- Kohno, H., Ohno, A. and Taki, Y. 1994a. Why is grouper larval rearing difficult?: a comparison of the biological natures of early larvae of four tropical marine fish species. In: Chou, L. K., Munro, A. D., Lam, T. J., Chen, T. W., Cheong, L. K. K., Ding, J. K., Hooi, K. K., Khoo, H. W., Phang, V. P. E., Shim, K. F. and Tan, C. H. (eds.) *The third Asian fisheries forum*. Asian Fisheries Society, Manila, Philippines. pp. 450-453.
- Kohno, H., Duray, M., Ohno, A. and Taki, Y. 1994b. Larval intervals of the seabass, *Lates calcarifer*, based on the development of swimming and feeding functions. In: Chou, L. K., Munro, A. D., Lam, T. J., Chen, T. W., Cheong, L. K. K., Ding, J. K., Hooi, K. K., Khoo, H. W., Phang, V. P. E., Shim, K. F. and Tan, C. H. (eds.) *The third Asian fisheries forum*. Asian Fisheries Society, Manila, Philippines. pp. 98-101.
- Kohno, H., Ordonio-Aguilar, R., Ohno, A. and Taki, Y. 1996a. Osteological development of the feeding apparatus in early stage larvae of the seabass, *Lates calcarifer*. *Ichthyol. Res.*, **43**: 1-9.
- Kohno, H., Ordonio-Aguilar, R., Ohno, A. and Taki, Y. 1996b. Morphological aspects of feeding and improvement in feeding ability in early stage larvae of the milkfish, *Chanos chanos*. *Ichthyol. Res.*, **43**: 133-140.
- Kohno, H., Ordonio-Aguilar, R., Ohno, A. and Taki, Y. 1997. Why is grouper larval rearing difficult?: an approach from the development of the feeding apparatus in early stage larvae of the grouper, *Epinephelus coioides*. *Ichthyol. Res.*, **44**: 267-274.
- Lagler, K. F., Bardach, J. E., Miller, R. R. and May Passino, D. R. 1977. *Ichthyology*, Second edition. New York, John Wiley & Sons, Inc. xv+506 pp.
- Liao, I.-C., Juario, J. V., Kumagai, S., Nakajima, H., Natividad, M. and Buri, P. 1979. On the induced spawning and larval rearing of milkfish, *Chanos chanos* (Forsk.). *Aquaculture*, **18**: 75-93.
- Matsuoka, M. 1987. Development of the skeletal tissues and skeletal muscles in the red sea bream. *Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab.*, (65): 1-114.
- 松岡正信. 1991. 運動器官. 田中(編), pp. 21-35. 魚類の初期発育, 東京, 恒星社厚生閣.
- 森岡伸介. 1993. 砕波帯におけるサバヒー仔魚の生態. 東京水産大学博士論文. 79 pp., 12 Tables, 77 Figs.
- Morioka, S., Ohno, A., Kohno, H. and Taki, Y. 1996. Nutritional condition of larval milkfish, *Chanos chanos*, occurring in the surf zone. *Ichthyol. Res.*, **43**: 367-373.
- Moser, H. G. 1981. Morphological and functional aspects of marine fish larvae. In: Lasker, R. (ed.) *Marine fish*

- larvae. Washington Sea Grant Program. pp. 89–131.
- Muchari, S. A., Purba, R., Ahmad, T. and Kohno, H. 1991. Larval rearing of grouper, *Epinephelus fuscoguttatus*. Bull. Pen. Perikanan, Spec. Edit., (2): 43–52.
- 沖山宗雄. 1979. 稚魚分類学入門 ①稚魚の定義と型分け. 海洋と生物, 1: 54–59.
- Omori, M., Sugawara, Y. and Honda, H. 1996. Morphogenesis in hatchery-reared larvae of the black rockfish, *Sebastes schlegeli*, and its relationship to the development of swimming and feeding functions. Ichthyol. Res., 43: 267–282.
- Ordonio-Aguilar, R. S. 1994. Survival mechanisms of tropical marine fish larvae during changeover from endogenous to exogenous feeding. Doctoral dissertation, Tokyo University of Fisheries. iv+322 pp.
- Ordonio-Aguilar, R., Kohno, H., Ohno, A., Moteki, M. and Taki, Y. 1995. Development of grouper, *Epinephelus coioides*, larvae during changeover of energy sources. J. Tokyo Univ. Fish., 82: 103–108.
- Otten, E. 1982. The development of a mouth-opening mechanism in a generalized *Haplochromis* species: *H. elegans* Trewavas 1933 (Pisces, Cichlidae). Netherlands J. Zool., 32: 31–48.
- Parazo, M. M., Garcia, L. Ma. B., Ayson, F. G., Fermin, A. C., Almendras, J. M. E., Reyes, D. M. and Avila, E. M. Jr. 1990. Sea bass hatchery operations. Aquaculture Extension Manual, No. 18, SEAFDEC AQD. 38 pp.
- Potthoff, T. 1984. Clearing and staining techniques. In: H. G. Moser, Richards, W. J., Cohen, D. M., Fahay, M.P., Kendall, A. W. Jr. and Richardson, S. L. (eds.) Ontogeny and Systematics of fishes. Am. Soc. Ichthyol. Herpetol., Spec. Publ., No. 1. pp. 35–37.
- Randall, J. E. and Heemstra, P. C. 1991. Revision of Indo-Pacific groupers (Perciformes: Serranidae: Epinephelinae), with descriptions of five new species. Indo-Pacific Fishes, (20): 1–332.
- Ruangpanit, N. 1993. Technical manual for seed production of grouper (*Epinephelus malabaricus*). National Institute of Coastal Aquaculture, Thailand, and Japan International Cooperation Agency. 46 pp.
- Supriatna, A. and Kohno, H. 1990. A larval rearing trial of the grouper, *Epinephelus fuscoguttatus*. Bull. Pen. Perikanan, Spec. Edit., (1): 37–43.
- Taki, Y., Kohno, H. and Hara, S. 1986. Early development of fin-supports and fin-rays in the milkfish *Chanos chanos*. Japan. J. Ichthyol., 32: 413–420.
- Taki, Y., Kohno, H. and Hara, S. 1987. Morphological aspects of the development of swimming and feeding functions in the milkfish *Chanos chanos*. Japan. J. Ichthyol., 34: 198–208.

チャイロマルハタ仔魚の遊泳・摂餌関連形質の発達

成澤行人・河野 博・藤田 清

熱帯海産魚であるチャイロマルハタのふ化仔魚から稚魚までの遊泳・摂餌機能にかかわる形質の形態発育を詳細に記載した。さらに、チャイロマルハタの初期生活史の種特異性をより明らかにするために、同じく熱帯海産魚であるアカメとサバヒーの遊泳・摂餌関連骨格の発達を調べ、3種の比較を行った。

遊泳機能に関する形質の発達に基づくと、チャイロマルハタ仔魚は以下の3段階に分けられた；1) 遊泳能力のほとんどない段階（未発達期：ふ化から日令13まで）；2) すべての鰭が出現し、突進能力と操縦性が同時に、しかしゆっくりと発達する段階（全鰭出現期：日令14から34まで、ただし遊泳能力によって日令25で前期と後期に分けられる）；3) 稚魚の遊泳能力が獲得される段階（完成期：日令35以降）。摂餌機能に関する形質の発達では、以下の4段階が認められた；1) ほとんど摂餌能力のない段階（未発達期：ふ化から日令9まで）；2) 口腔を形成する形質が出現し、吸い込む力で摂餌する段階（形質出現期：日令10から25まで、ただし吸い込み能力によって日令20で前期と後期に分けられる）；3) 咽頭歯の増加と口腔を形成する形質の化骨の開始で、くわえ込む能力が発現し、吸い込み能力も増す段階（化骨期：日令26から34まで）；4) 稚魚としての摂餌能力の備わる段階（完成期：日令35以降）。

さらに、アカメ、サバヒーとの比較によって以下のことが明らかとなった。1) チャイロマルハタの遊泳・摂餌機能はアカメ型に属する。2) チャイロマルハタの遊泳・摂餌機能に関する形質の発現時機は、アカメに比べるとかなり遅い。3) チャイロマルハタでは尾鰭、脊椎骨、不對鰭、対鰭が同時に発現し、しかも時間をかけてゆっくりと発達するのに対し、アカメではまず尾鰭と脊椎骨、不對鰭が出現・発達して突進的遊泳をし、次いで対鰭が発達することで操縦性を備えるという機能的発育が、短い期間に認められた。4) 吸い込み

に加えて、くわえ込みと嚙み付きの摂餌様式が添加される時機も、チャイロマルハタではかなり遅い。5) 稚魚としての遊泳・摂餌能力を獲得するのは、アカメでは日令 18~20 であるのに対して、チャイロマルハタでは日令 34~35 である。

本研究で明らかとなったチャイロマルハタ仔魚の遊泳・摂餌機能に関する形質の発育様式は、アカメ、サバヒーとの比較の結果、仔魚の生残には不利であることが判明した。さらに、この特性がチャイロマルハタの初期飼育の難しさの一因であると考えられた。

キーワード：遊泳機能，摂餌機能，個体発生，ハタ類，チャイロマルハタ，アカメ，サバヒー