

ムツの摂餌・消化器官に関する形態学的研究

木村清志*・井上慎吾**・鈴木 清

三重大学水産学部

Functional Morphology of *Scombrops boops* (Pisces: Scombroidae) in Relation to their Feeding Habit

Seishi KIMURA*, Shingo INOUE** and Kiyoshi SUZAKI

Faculty of Fisheries, Mie University

The present report deals with the functional morphology of *Scombrops boops* (Pisces: Perciformes: Scombroidae) in relation to their feeding habits, with particular reference to jaws, stomach, intestine, dentition, gill raker, and size of prey animals. Through the morphometric study of these organs, the authors could successfully make clear the significance of the structural adaptations of these organs in relation to the conversion of feeding habits.

Relative width of lower jaw became larger with body growth.

Stomach showed 卜-shape and did not change morphologically in the specimens larger than 20mm SL. Blind sac of stomach was completed in the specimens ca. 100mm SL. Convolution of intestine showed N-shape and did not change in the specimens larger than ca. 19mm SL. Relative length of intestine became longer with body growth. Pyloric caeca were completed in the specimens ca. 60mm SL.

Conical teeth were present on both jaws, vomer, palatines, and pharyngeal bones. Teeth on jaws were larger than those on the other bones. Relative length of the longest teeth on both jaws and relative length and width of vomerine teeth band became larger with body growth in the specimens smaller than 60mm SL, but they became smaller in the specimens larger than 60mm SL. The posterior portion of palatal teeth were ranged in a single row in all specimens examined here. Their anterior portion also ranged in a single row in the specimens smaller than 20mm SL, but they ranged in two rows in the specimens larger than 70-80mm SL.

Number of gill rakers ranged from 18 to 25, and did not change in the specimens examined here. Stump-like gill rakers appeared in the specimens larger than 30mm SL, and increased in number with body growth. With body growth, relative length of the longest gill

* 附属水産実験所 (Fisheries Research Laboratory, Mie University, Wagu, Shima, Mie 517-07)

** 現, 新日本気象海洋株式会社 (METOCEAN, 3-14-5 Tamagawa, Setagaya, Tokyo 158)

raker and relative distance between gill rakers became shorter and wider, respectively.

Area of mouth gape increased with body growth according to the formula $\log AM = 2.034 \log SL - 1.869$ where AM = area of mouth gape in mm^2 and SL = standard length in mm. Cross-sectional areas of prey animals increased gradually with enlargement of mouth gape of the predator. Maximum size of prey animal was determined primarily by width and depth of prey's body and secondarily by sectional areas of prey.

Considering the results obtained here, it may be deducible that the structures of feeding and digestive organs change ontogenically in relation to the piscivorous behavior of the fish.

Key words: *Scombrops boops*, functional morphology, feeding organs, digestive organs

魚類の摂餌・捕食器官の形態は、その多様な食性に対して様々な適応現象を示している（松原ほか、1965）。歯系や鰓耙、消化管などの摂餌や消化に関係する器官については総括的にまとめられたSUYEHIRO(1942)の研究がよく知られている。また魚種別あるいは器官別にまとめた研究としては松井(1938)、加福(1952)、IWAI(1956, 1964)、山下(1956)、YASUDA(1960a)、横田ほか(1961)、FUKUSHO(1969)、花淵(1973)、KAFUKU(1978)、MOK(1977)、鈴木・木村(1978)、駒田(1980, 1982)などがある。しかし、これらの中には、歯系や腸型などを解剖学的に調査し、分類形質あるいは系統形質として考察されているものが多く、食性に対する形態的な適応現象を詳細に報告したものはアユ(松井1938)、ボラ(江草1950)、オイカワ属魚類(鈴木・木村1978)などにすぎない。また、魚類の摂餌活動を考える場合に、捕食者の口器の大きさと餌料の大きさととの関係が重要な課題と考えられるが(山田1978)、これについてはYASUDA(1960b)、代田(1970, 1978a, b)、矢田(1982)らの研究が知られている程度である。

本研究で扱ったムツの摂餌・消化器官の形態については、すでにSUYEHIRO(1942)やYASUDA(1960b)によって報告されているが、それらはかなり断片的なものである。

著者らは稚魚から成魚までの各発育段階におけるムツの摂餌・消化器官の形態的特徴を明らかにすると共に、口の大きさと餌料の大きさととの関係や、食性変化に伴うこれらの器官の適応現象について考察した。

材料と方法

供試材料は1978年3月から1981年8月までの間に、三重県熊野灘沿岸各地で定置網や釣りなどによって採集した577個体で、先に行った食性調査(木村ほか1982)に使用したものと同一個体である。これらはすべてホルマリン固定後に、各器官の観察や計測に用いた。

外部形態についてはHUBBS and LAGLER(1958)に準拠して体長(標準体長)、頭長、上顎長、下顎長、下顎幅を測定した。消化管については、胃と腸の形態観察および胃盲囊長、腸長の測定、幽門垂数の計測を行った。胃盲囊長は、胃幽門部の基底から盲囊部後端までの長さとした。

ただし、胃に内容物が含まれている場合は盲囊長の変動が大きいため、ここでは空胃個体を選んで測定に供した。腸長は、胃の幽門部から肛門までを一直線に伸ばして測定した。歯系については、両顎を切り離した後に、両顎歯の形態観察および歯数、歯長の計測を行った。鋤骨歯、口蓋骨歯、咽頭歯については、歯帯の長さや幅、あるいは歯列の長さや数の計測を行った。鰓耙は左側第1鰓弓上のものについて形態観察、計数、最大長の計測を行った。

開口角(代田1970)は、生鮮時のムツの口を人為的に最大限まで開き、その結果より 110°

と決定した。開口面積(代田 1970)は開口角 110° で標本の口を開いて固定し、写真撮影からその面積を読み取った。

餌料魚類体断面積の復元には、ムツを採集した海域と同一海域から得られた標本を用いた。餌料魚類体断面積は、各魚種について体高が最大になる部位で、体の横断切片を作成し、万能投影機を用いてその面積を読み取った。その後、餌料魚類体断面積とその体長との関係を求め、得られた関係式を用いて実際に捕食されていた魚類の体断面積を復元した。餌料甲殻類は、コペポータのようにムツの開口面積よりも体はるかに小さいものや、エビ類やワレカラ類のように体の屈伸が自在であるものが主体であったため、模式的に体を長方形と仮定し、甲長と甲幅の積を体の最大面積とした。

嗅板重量は山田(1978)にしたがい、嗅板を摘出して濾紙上で水分を十分に除去し、秤量した。相対成長の検討については伊藤(1951)や清水(1959)にしたがった。

結果と考察

I. 外部形態

体長 SL (mm) と上顎長 LUJ (mm), 下顎長 LLJ (mm), 下顎幅 WLJ (mm) との関係はFig. 1 のようになり、下顎幅には体長40mmに変曲点が認められた。それぞれの関係は次式によって表わされる。

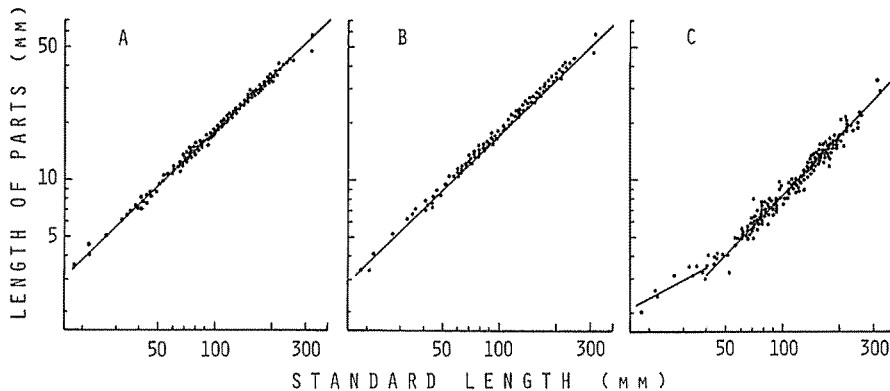


Fig. 1. Relative growths of length of upper jaw (A), length of lower jaw (B), and width of lower jaw (C) against standard length.

$$\log LUJ = 0.979 \log SL - 0.699 \quad (r = 0.998)$$

$$\log LLJ = 0.983 \log SL - 0.711 \quad (r = 0.998)$$

$$SL \leq 40 : \log WLJ = 0.581 \log SL - 0.388 \quad (r = 0.868)$$

$$SL > 40 : \log WLJ = 1.031 \log SL - 1.141 \quad (r = 0.987)$$

下顎幅の体長40mmを境とする2つの相対成長式間の“傾斜の差”は1%の危険率で有意性が認められることから、下顎幅は体長40mm付近で成長屈折を行うと考えてよい。以上の相対成長式の傾

きは上顎長，下顎長，体長40mm以下の下顎幅では1%の危険率で1より小さく，体長が40mmより大きい場合の下顎幅では1%の危険率で1より大であった。

頭長HL (mm) と上顎長，下顎長，下顎幅との関係は Fig. 2 のようになり，下顎幅には頭長14.5mmに変曲点が認められた。それぞれの関係は次式によって表わされる。

$$\log LUJ = 1.014 \log HL - 0.303 \quad (r = 0.998)$$

$$\log LLJ = 1.015 \log HL - 0.307 \quad (r = 0.997)$$

$$HL \leq 14.5 : \log WLJ = 0.556 \log HL - 0.109 \quad (r = 0.841)$$

$$HL > 14.5 : \log WLJ = 1.072 \log HL - 0.729 \quad (r = 0.988)$$

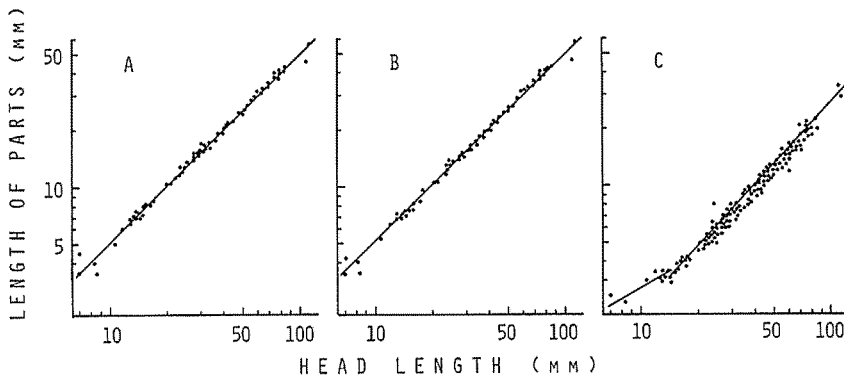


Fig. 2. Relative growths of length of upper jaw (A), length of lower jaw (B), and width of lower jaw (C) against head length.

下顎幅の頭長14.5mmを境とする2つの相対成長式間の“傾斜の差”は1%の危険率で有意性が認められるので，2つの相対成長式に分けて考えるのが妥当である。以上の相対成長式の傾きは上顎長，下顎長では1との“傾斜の差”が有意ではなく，頭長14.5mm以下の下顎幅は1%の危険率で1より小さく，頭長が14.5mmより大きい場合の下顎幅では1%の危険率で1より大であった。

以上の結果から上顎長，下顎長は体長に対して劣成長であり，頭長と等成長である。したがって上顎や下顎は頭部に付随する器官として，頭部の成長の影響を大きく受けているものと考えられる。

体長40mmは，ムツの主餌料が小型甲殻類から魚類へ移行しはじめる時期である(木村ほか 1982)。この時期に対応して下顎幅に成長屈折がおり，体長および頭長に対して優成長になる。この結果，小型甲殻類より大型で，遊泳力の優れた魚類を捕食可能にするものと考えられる。

II. 消化管

胃 胃は盲嚢部が良く発達し，SUYEHIRO (1942) のト型に属する。横田ほか (1961) によると，ムツの胃は全長20mm前後でY型からト型へと変化するサバ型であると述べており，これ以降成長に伴う胃型の変化はない。ト型の胃はバショウカジキ，ヤマトカマス，シイラなどの魚食性魚類に多く見られる(横田ほか 1961)。

胃盲嚢長LBS (mm) と体長との関係は Fig. 3 A のようになり，次式で表わされる。

$$\log LBS = 1.090 \log SL - 1.020 \quad (r = 0.966)$$

成長屈折は見られず、相対成長式の傾きは1%の危険率で1より大であった。

胃盲嚢長-体長比 (LBS/SL) と体長との関係を Fig. 3 B に表わした。体長 100mm 以下の範囲では増大が急激であり、体長 100mm を越えるとほぼ一定となり、その値は 0.15 前後である。

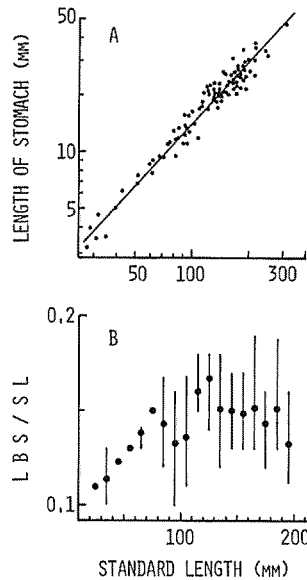


Fig. 3. A. Relative growth of length of blind sac of stomach (LBS). B. Relationship between standard length (SL) and the ratio of LBS to SL . Circles and vertical lines indicate mean values and ranges respectively.

腸 腸の巻き型を Fig. 4 に表わした。雑食性であるコイ (加福, 1952) やニザダイ (MOK 1977) などは極めて複雑な腸の巻き型を示すが、それらと比較してムツは単純であり、2つの屈折部が見られるのみである。この腸の巻き型はN型 (SUYEHIRO 1942) やBタイプ (MOK 1980) と呼ばれるものである。このN型の腸を有する魚類はベラ類、異体類、アジ類など (MOK 1980) に多く存在するが、中でもムツの腸型はマアジ、ムロアジなどによく類似している (山下 1956, SUYEHIRO 1942)。

ムツの腸の巻き型は体長18.8mm以上では変化しない。しかし、Fig. 4 から明らかなように、

幽門部から第1屈折部まで、第1屈折部から第2屈折部まで、および第2屈折部から肛門までの各長さの比率は成長に伴って変化している。すなわち、体長の小さい時期には腸の巻き型は

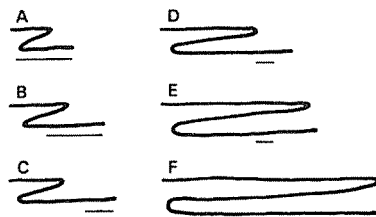


Fig. 4. Intestinal convolution of *Scombrops boops*. A, 18.8mm in standard length; B, 35.4mm; C, 52.7mm; D, 104.3mm; E, 124.3mm; F, 194.6mm. Scales indicate 5 mm.

より直線に近く、第1屈折部から第2屈折部までが短かいが、体長100~120mmでは、上記の3部位はほぼ等長になる。

腸長 LI (mm) と体長との関係をFig. 5 A に示した。この体長範囲では成長屈折はなく、両者の関係は次式によって表わされる。

$$\log LI = 1.206 \log SL - 0.484 \quad (r = 0.983)$$

相対成長式の傾きは1%の危険率で1より大であった。

山下(1956)にしたがって腸長-体長比 (LI/SL) と体長との関係をFig. 5 B に示した。

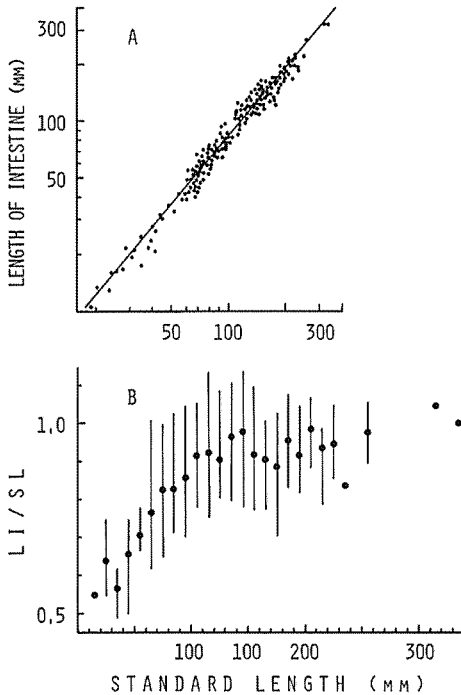


Fig. 5. A. Relative growth of length of intestine (LI). B. Relationship between standard length (SL) and the ratio of LI to SL . Circles and vertical lines indicate mean values and ranges respectively.

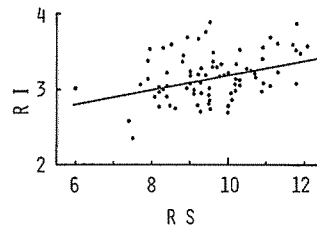


Fig. 6. Relationship between RS and RI .
 $RS = LBS \times 10^2 / SL^{1.090}$ $RI = LI \times 10 / SL^{1.206}$
 LBS , length of blind sac of stomach in mm; LI , length of intestine in mm; SL , standard length in mm.

腸長は体長に対し優成長であるから、この比も成長に伴って増大する。体長100mm以下では増大は急激であり、その後の変化は緩やかになる。また、体長60mmを越えると腸長が体長よりも長い個体が出現するようになる。

胃盲嚢長と腸長との関係 胃盲嚢長、腸長ともに体長の影響を除外するために次のような指数を求めた。

$$RS = LS / SL^{1.090} \times 100$$

$$RI = LI / SL^{1.206} \times 10$$

RS と RI との関係はFig. 6 のようになり、次の回帰式によって表わされる。

$$RI = 0.0094 RS + 0.228 \quad (r = 0.371)$$

回帰式の傾きは1%の危険率で正であり、相関係数0.371も有意である。したがって両者間には正の相関関係が認められるので、胃盲嚢部が大きい個体は腸も長いといえる。

幽門垂 幽門垂数と体長との関係を Fig. 7 に表わした。幽門垂数は体長60mmまでは10~17本であるが、体長60mmを越えると11~22本へと増加し、その後はほぼ安定する。SUYEHIRO(1942)によると、ムツの幽門垂数は12~14本と報告されているが、本研究結果ではそれよりも数が多く、変異も著しい。幽門垂長は、およそ胃盲嚢長の1/4~1/3程度であった。

胃盲嚢長が優成長であることから、ムツは成長に伴ってより大型の餌料を捕食し得るようになるかと推定される。

体長100mmは、ムツの餌料がイワシ類

や、他の遊泳性魚類の未成魚、成魚へ移行する時期であり、この時期に胃盲嚢長一体長比はほぼ一定になり、胃は形態的に完成されると考えられる。

腸は一般的に草食性魚類では長く、動物食性では短いことが知られており、同一魚種でも植物性餌料で飼育されたものと、動物性餌料で飼育されたものとは、腸長に差が生じるという報告もある(松原ほか 1965)。また、マイワシ、カタクチイワシでは、餌料が動物プランクトンから植物プランクトンへ移行すると腸が伸長することが知られている(山下 1956)。したがって、ムツの腸長に成長屈折が見られないのは、餌料が甲殻類から魚類へ変化しても、質的には動物質の餌料として変化しないことによるものと推定される。

III 歯系

顎歯 両顎には比較的大型の歯が見られる。ムツの顎歯は鋭い犬歯であると報告されているが(SUYEHIRO 1942)、本研究結果では、顎歯はむしろ円錐歯と呼ばれるべきものと思われた。

両顎および顎歯の模式図をそれぞれ Figs. 8 A-F に表わした。両顎歯は1列で、小型個体の顎歯はやや内側へ湾曲するが、大型個体の顎歯はほぼ直線状である。大型個体の顎歯には節が見られ、これは体長30mm前後から形成され始める。なお、この節の部分で歯が倒れることはない。顎歯の形態は、タチウオ(花瀬 1973)などのように、成長に伴う大きな変化は認められないが、大型個体になるほどこの節の部分で歯がくびれる傾向が認められた。また、体長25mm以上の個体では、両顎にそれぞれ数本の可倒歯がある。補充歯は小型の時期からかなり明確に認められる。上顎では上顎縫合部付近に存在する3本の歯が他の歯よりもかなり大きく、下顎では歯骨中央上に存在する2~3対の歯が最大である。

この体長範囲では両顎の歯数はほぼ一定で、成長による歯数の変化は認められなかった。上顎歯数は20~38で、SUYEHIRO(1942)が報告した30本とほぼ一致するが、下顎歯数は13~30であり、SUYEHIRO(1942)の32よりも少ない。

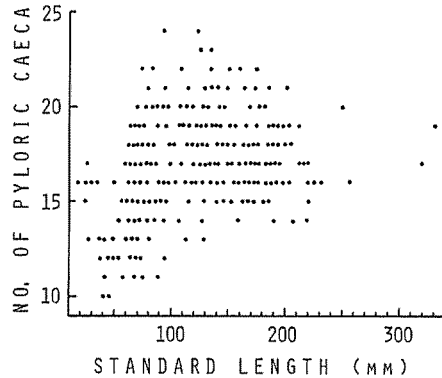


Fig. 7. Relationship between standard length and number of pyloric caeca.

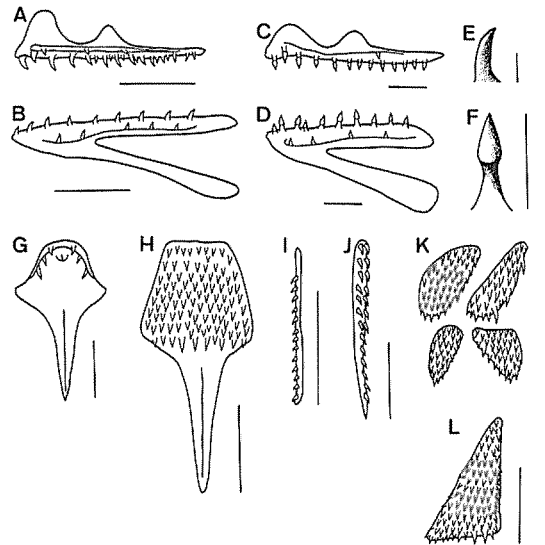


Fig. 8. Teeth of *Scombroproops boops*. A to D, upper and lower jaws; E and F, teeth on lower jaws; G and H, vomarine teeth bands; I and J, teeth rows on paratine; K, upper pharyngeal teeth bands; L, lower pharyngeal teeth band. A, C, and E, 18.8mm in standard length; G and I, 27.9mm; B, D, F, H, J, K, and L, 318.0mm. Scales indicate 0.1mm in E, 0.5mm in G, 1mm in A, B, and I, 5mm in F and H, and 10mm in C, D, and J to L.

上顎の最大歯長 $MLUT$ (mm) および下顎の最大歯長 $MLLT$ (mm) と体長との関係は Fig. 9 のようになり、いずれも体長60mmに変曲点が現われ、相対成長式は次のように表わされる。

$SL \leq 60$:

$$\log MLUT = 1.260 \log SL - 2.291 \quad (r = 0.955)$$

$$\log MLLT = 1.130 \log SL - 2.140 \quad (r = 0.984)$$

$SL > 60$:

$$\log MLUT = 0.760 \log SL - 1.246 \quad (r = 0.886)$$

$$\log MLLT = 0.840 \log SL - 1.460 \quad (r = 0.923)$$

上顎の最大歯長において、体長60mmを境にした2つの相対成長式間の“傾斜の差”は1%の危険率で有意であり、下顎の最大歯長においても同様に“傾斜の差”は5%の危険率で有意性が認められた。したがって、両顎の最大歯長はいずれも体長60mm付近で成長屈折を行うと考えてよい。相対成長式の傾きは、両顎ともに体長60mm以下では1と有意差が認められないが、体長60mmより大きい場合ではいずれも1%の危険率で1よりも小さい。

鋤骨歯 鋤骨歯帯は台形を呈し、ほぼ全面に細かい円錐歯を有しているが、小型個体では、鋤骨の前面にのみ数本の歯を有するものも見られた (Figs. 8 G, H)。

体長にかかわらず歯は円錐歯であるが、小型個体の鋤骨歯は内側へやや湾曲している。

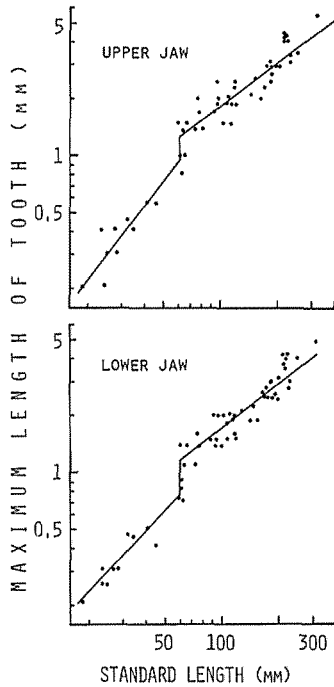


Fig. 9. Relative growth of maximum lengths of teeth on upper and lower jaws.

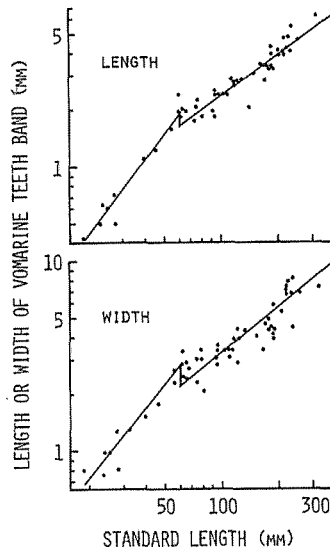


Fig. 10. Relative growth of length and width of vomarine teeth band.

鋤骨齒帯の長さ $L V$ (mm) および幅 $W V$ (mm) と体長との関係は Fig. 10 のようになり、いずれも体長60mmに変曲点が認められた。それぞれの関係は次の各式によって表わされる。

$S L \leq 60$:

$$\log L V = 1.391 \log S L - 2.191 \quad (r = 0.982)$$

$$\log W L = 1.192 \log S L - 1.684 \quad (r = 0.959)$$

$S L > 60$:

$$\log L V = 0.748 \log S L - 1.114 \quad (r = 0.937)$$

$$\log W L = 0.824 \log S L - 1.125 \quad (r = 0.833)$$

齒帯長において、体長60mmを境にした2つの相対成長式間の“傾斜の差”は1%の危険率で有意であり、齒帯幅においても同様に5%の危険率で有意性が認められた。したがって、両者はいずれも体長60mm付近で成長屈折を行うと考えてよい。体長60mm以下では齒帯長の相対成長式の傾きは1%の危険率で1より大きい。体長60mm以上では、相対成長式の傾きは、齒帯長、幅ともに危険率1%で1より小であった。

口蓋骨齒 口蓋骨齒は体長の大小を問わず円錐型である。しかし、齒列には成長に伴う変化が認められ、体長20mm以下の個体では前後ともすべて1列であるが、体長50mmを越えると、前方が2列になる個体が50%以上出現し、さらに、体長70~80mm以上の個体になると、齒列はすべて前方2列後方1列となる (Figs. 8 I, J)。

口蓋骨の歯列長 LP (mm) と体長との関係は Fig. 11 のようになり、次式で表わすことができる。

$$\log LP = 1.015 \log SL - 1.134 \quad (r = 0.983)$$

相対成長式の傾きは 1 と有意差が認められなかった。

咽頭歯 SUYEHIRO (1942) によると、上咽頭骨上には、前部、中部、後部に分かれた 3 対の歯帯および下咽頭骨上には 1 対の狭い歯帯が存在すると報告している。しかし、本研究結果では、上咽頭骨上には 4 対の歯帯と、下咽頭骨上には 1 対の三角形の歯帯が認められた。歯帯の形状に成長に伴う変化は認められなかった。歯は円錐歯であった (Figs. 8 K, L)。

上咽頭骨の歯帯長 LUP (mm)、歯帯幅 WUP (mm) と体長との関係および下咽頭骨の歯帯長 LLP (mm)、歯帯幅 WLP (mm) と体長との関係は Fig. 12 のようになり、いずれも成長屈折は見られず、次の各式で表わされる。

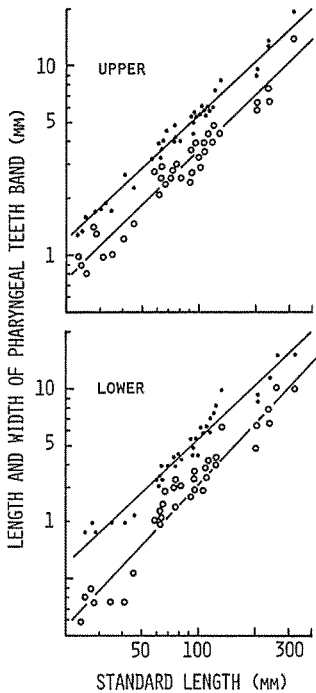


Fig. 12. Relative growths of lengths (dots) and widths (circles) of upper and lower pharyngeal teeth bands.

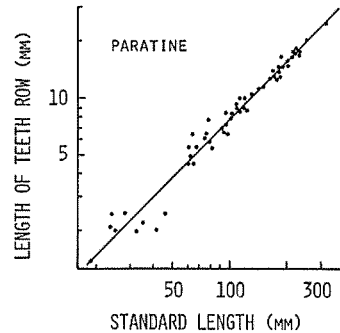


Fig. 11. Relative growth of teeth row on paratine

$$\log LUP = 0.977 \log SL - 1.202 \quad (r = 0.983)$$

$$\log WUP = 1.028 \log SL - 1.512 \quad (r = 0.968)$$

$$\log LLP = 0.963 \log SL - 1.177 \quad (r = 0.977)$$

$$\log WLP = 1.114 \log SL - 1.699 \quad (r = 0.967)$$

相対成長式の傾きは上咽頭骨の歯帯長、歯帯幅および下咽頭骨の歯帯長では 1 と“傾斜の差”に有意性が認められないが、下咽頭骨の歯帯幅では 5% の危険率で 1 より大であった。

タチウオでは甲殻類を捕食している時期の顎歯は牙型歯であり、魚類を捕食するようになると鉤型歯に変化することが知られている (花淵 1973)。ムツの顎歯に見られた節も、成長に伴ってこの部分で歯がくびれることから、魚食に対する適応現象と考えられる。また、可倒歯はマエソ、マダラ、アンコウなどの魚食性、肉食性の強い魚類に見られる (松原ほか 1965)。ことから、ムツが可倒歯を有することもその魚食性の強さを表わしている

と考えられる。顎歯長は体長60mm付近で成長屈折を示すが、この時期はムツの餌料が小型甲殻類からイワシ類シラスへ移行した直後である(木村ほか 1982)。体長60mmまでは顎歯長は体長に対して優成長であるが、これは食性変化に備えて顎歯の発達を急ぐためと思われる。

鋤骨歯や口蓋歯、咽頭歯は形態的にみて、捕獲した餌料を保持する役割を果していると考えられる。鋤骨歯帯長、鋤骨歯帯幅はいずれも体長60mm付近で、成長屈折を示すが、これも顎歯と同様に食性変化に対応していると考えられる。咽頭骨歯帯幅では、とくに下咽頭歯が体長に対して優成長であり、成長に伴ってより大型の餌料を保持することを可能ならしめていると考えられる。

IV. 鰓耙

鰓耙の模式図を Fig. 13 に表わした。鰓耙上には多数の process (SUYEHIRO 1942) が発達する。また、体長30mm以上になると切株状の鰓耙が出現し、これは成長に伴って増加する。総鰓耙数は通常18~25本で、ここで調べた体長範囲では変化が認められなかった (Fig. 14)。

最長の鰓耙は上鰓骨一角鰓骨関節部に存在し、この長さを鰓耙長とした。鰓耙長 LGR (mm) と体長との関係は Fig. 15 のようになり、次式で表わされる。

$$\log LGR = 0.859 \log SL - 1.09 \quad (r = 0.985)$$

相対成長の傾きは1%の危険率で1より小であった。

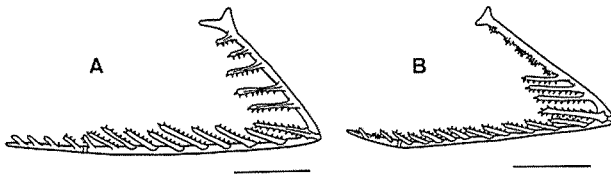


Fig. 13. Gill rakers on left-side first gill arch. A, 23.6mm in standard length; B, 232.4mm. Scales indicate 1mm in A and 10mm in B.

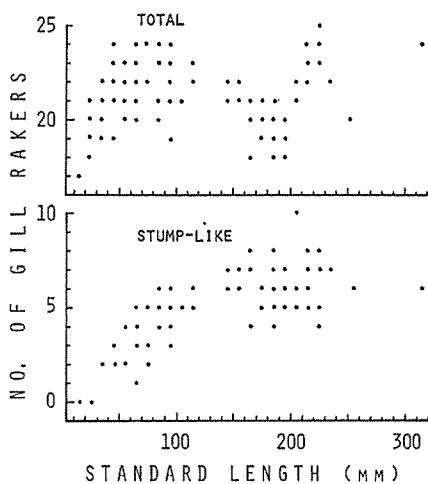


Fig. 14. Relationships between standard length and total number of gill rakers and number of stump-like gill rakers.

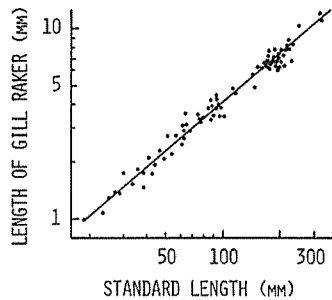


Fig. 15. Relative growth of maximum length of gill raker.

上鰓骨、角鰓骨、下鰓骨の各長さを合計して鰓弓長とし、これを切株状鰓耙を除いた鰓耙数で除した値を鰓耙間距離とした。鰓耙間距離 DGR (mm) と体長との関係は Fig. 16 に表わしたとおりで、次式で表わされる。

$$\log DGR = 1.074 SL - 1.947$$

$$(r = 0.982)$$

相対成長式の傾きは 1% の危険率で 1 より大であった。

鰓耙の形態や数と食性との関係は肯定的な意見と否定的な意見があり、議論が分れている (YASUDA 1960 a, 河井 1978 など)。しかし、鰓耙は食物の通路に位置していることから食性と全く無関係であるとは考えられない (岩井 1971)。鰓耙がよく発達しているマイワシやカタクチイワシ、あるいは極めて退化しているアカカマスやアンコウなどの魚類では鰓耙と食性との関係は明らかに密接である。

しかし、このような極端な例は別として、鰓耙数が 20~40 本程度の多くの魚類では鰓耙の特化程度が低く、食性との関係はあまり顕著でないように思われる。

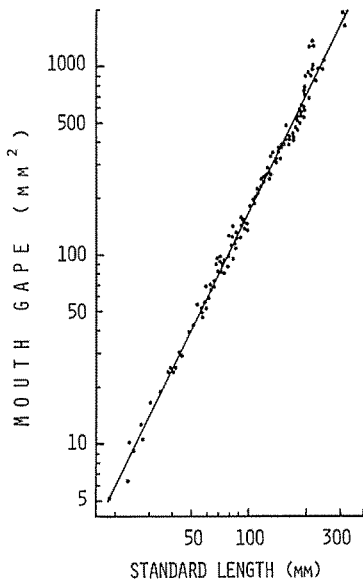


Fig. 17. Relationship between standard length and area of mouth gape.

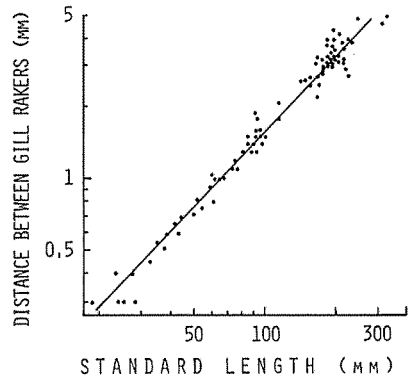


Fig. 16. Relationship between standard length and distance between gill rakers (DGR). DGR was calculated from length of gill arch and number of gill rakers except stump-like ones.

ムツの鰓耙は前述の結果から明らかなように、成長に伴って退化傾向を示し、これはやはり、餌料が小型甲殻類から魚類へ移行することと関連していると考えられる。しかし、魚食性へ移行した後も、一部の魚食性魚類で見られるように鰓耙がすべて歯状に変化したり、鰓耙数が極めて減少することはない。このような魚類に比較して、鰓耙の特化程度は低い。

V. 開口面積と餌料生物体断面積

開口面積 開口面積 AM (mm²) と体長との関係は Fig. 17 のようになり、成長屈折は見られず、次式で表わすことができる。

$$\log AM = 2.034 \log SL - 1.859$$

$$(r = 0.996)$$

餌料生物体断面積 木村ほか (1982) が報告したムツの餌料のうち、主餌料とされているキビナゴ、ウルメイワシ、マイワシ、カタクチイワシ、マサバ、マアジ、トウゴロイワシの体断面積および、甲殻類の体面積を求

めた。キビナゴ、マイワシ、マアジでは体高 BD (mm), カタクチイワシ、トウゴロウイワシ、マサバでは体幅 BW (mm), ウルメイワシでは体高と体幅の積などがそれぞれ体断面積 AP (mm^2)に對して最も高い相関を示した。関係式は次のように表わされる。

$$\text{キビナゴ: } \log AP = 2.255 \log BD - 0.497 \quad (r = 0.997)$$

$$\text{マイワシ: } \log AP = 2.048 \log BD - 0.462 \quad (r = 0.994)$$

$$\text{マアジ: } \log AP = 2.317 \log BD - 0.792 \quad (r = 0.998)$$

$$\text{カタクチイワシ: } \log AP = 1.922 \log BW - 0.140 \quad (r = 0.996)$$

$$\text{トウゴロウイワシ: } \log AP = 1.915 \log BW - 0.078 \quad (r = 0.993)$$

$$\text{マサバ: } \log AP = 1.732 \log BW - 0.364 \quad (r = 0.992)$$

$$\text{ウルメイワシ: } AP = 0.953 BD \cdot BW - 9.778 \quad (r = 0.979)$$

さらに、各魚種の体断面積の復元に用いた部位と体長との関係を次の各式で表わした。

$$\text{キビナゴ: } \log BD = 1.379 \log SL - 1.496 \quad (r = 0.986)$$

$$\text{マイワシ: } \log BD = 1.444 \log SL - 1.504 \quad (r = 0.993)$$

$$\text{マアジ: } \log BD = 0.937 \log SL - 0.450 \quad (r = 0.995)$$

$$\text{カタクチイワシ: } \log BW = 1.623 \log SL - 2.078 \quad (r = 0.987)$$

$$\text{トウゴロウイワシ: } \log BW = 1.144 \log SL - 1.142 \quad (r = 0.947)$$

$$\text{マサバ: } \log BW = 1.353 \log SL - 1.606 \quad (r = 0.986)$$

$$\text{ウルメイワシ: } \log BD = 1.068 \log SL - 0.869 \quad (r = 0.970)$$

$$\log BW = 1.065 \log SL - 0.979 \quad (r = 0.979)$$

以上、2種類の関係式を用いて、実際に捕食されていた魚類の体長から体断面積を復元した。

開口面積と餌料生物体断面積 ムツの開口面積と餌料生物体断面積との関係はFig. 18のようになり、餌料生物体断面積は捕食者の成長に伴って、その上限、下限ともに増大する傾向が認められる。ムツの体長と餌料生物体長との関係(木村ほか 1982)では、餌料甲殻類体長と餌料魚類体長との差が極めて大きいために、餌料生物体長はムツが魚食に移行すると著しく上昇する。しかし、餌料生物体断面積と開口面積との関係では、餌料生物体断面積は比較的緩やかに上昇し、体長の場合ほどの急激な変化ではなかった。また開口面積から言えば、コペポダを捕食している時期でも、イワシ類シラスなどの小型魚類を捕食することは充分可能である。

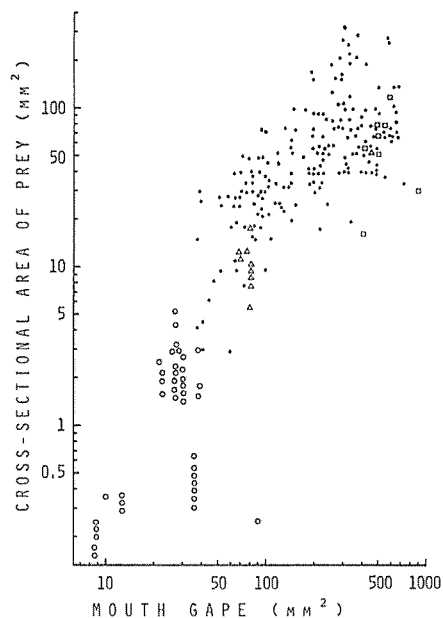


Fig. 18. Relationship between area of mouth gape and cross-sectional area of prey animals. Circles, copepods; dots, fishes; squares, shrimps; triangles, caprellids.

餌料生物体断面積を捕食者開口面積で除した値を $\alpha(s)$ とし、 $\alpha(s)$ と捕食者体長との関係を Fig. 19 に示した。体長40mm以下のムツはコペポダを主餌類としているので、この時期の $\alpha(s)$ は 0.02~0.11 と小さく、体長40mmを越えると急激に増大し、 $\alpha(s)$ は 0.1~0.9 となり、その後は、成長に伴って $\alpha(s)$ の最大値、平均値は共に低下する傾向が認められる。なお、 $\alpha(s)$ の最大値は 0.93 であった。

代田(1970)が述べたように、稚魚期では開口率 100%近くで、捕食を行うことはない。しかし未成魚期になると、これに近い状態で捕食していることが明らかである。

横田ほか(1961)は、餌料生物の大きさを規定する要因が、餌料の体長ではなく餌料の体高や体幅であると報告している。また、IVLEV(1965)は、強大な棘などが捕食者からの優れた防禦機構であると述べている。すなわち、餌料生物の体型や外部形態的特徴が、 $\alpha(s)$ の変化に大きな影響を与えると考えられるため、餌料魚種別の $\alpha(s)$ の頻度分布を求めた (Fig. 20)。ウルメイワシ、マイワシでは比較的大きな値に偏った分布を示しているが、キビナゴ、カタクチイワシでは比較的小きな値に偏り、さらにマサバ、マアジではこの傾向が著しく、小さな値に集中している。

以上の餌料魚種の中で、体高が体幅よりも小さいものはないため、餌料としての大きさを制限する要因は体高であると推定できる。そこで、ムツの口径(開口角 110° での上顎前端から下顎前端までの直線距離)と各餌料魚種の体高との関係を Fig. 21 に表わした。ウルメイワシは口径の60~70%そのほとんどが集中し、その他の魚種は口径の20~70%の範囲に

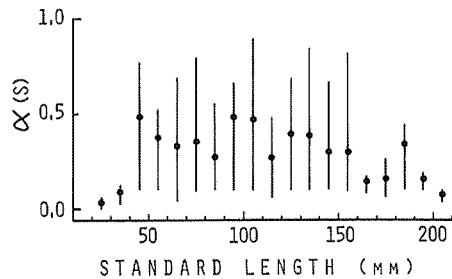


Fig. 19. Change of value of $\alpha(s)$ with growth.

$\alpha(s) = AP/AM$ AM, area of mouth gape of *Scobrops boops* in mm^2 ; AP, cross-sectional area of prey animals in mm^2 . Circles and vertical lines indicate mean values and ranges respectively.

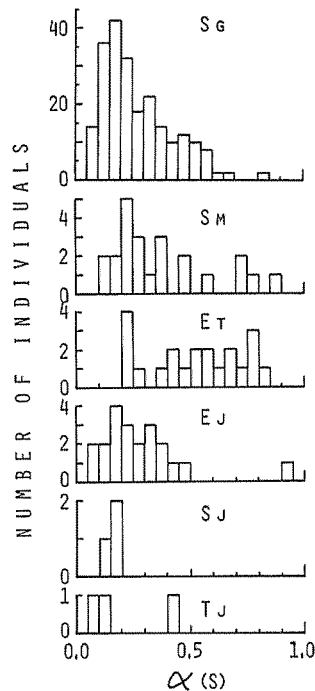


Fig. 20. Frequency distributions of value of $\alpha(s)$ for six prey fishes. Sg, *Spratelloides gracilis*; Sm, *Sardinops melanostictus*; Et, *Etrumeus teres*; Ej, *Engraulis japonicus*; Sj, *Scomber japonicus*; Tj, *Trachurus japonicus*.

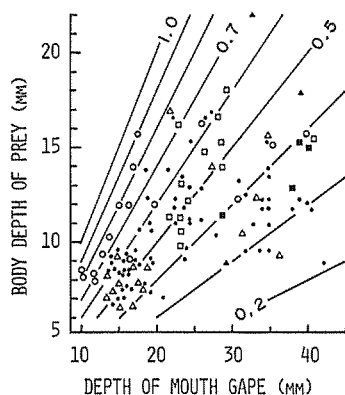


Fig. 21. Relationships between depth of mouth gape of *Scombrops boops* (DM) and body depth of prey fishes (DP). Oblique lines show the ratio of DP to DM . Open circles, *Etrumeus teres*; solid circles, *Spratelloides gracilis*; open triangles, *Engraulis japonicus*; solid triangles, *Trachurus japonicus*; open squares, *Sardinops melanostictus*; solid squares, *Scomber japonicus*.

ある。マアジは、 $\alpha(s)$ の頻度分布では小さい値を示したが、体高は口径の40~70%であり、比較的高い。

$\alpha(s)$ と α (木村ほか 1982)とを比較すると Table 1 のようになる。平均値では、すべての魚種について $\alpha(s)$ は α より小さい。 $\alpha(s)$ の最大値は α の最大値とほぼ同じか、あるいはマイワシ、カタクチイワシのように $\alpha(s)$ の最大値がより大きいものが見られる。また、 $\alpha(s)$ の幅は、トウゴロウイワシ、マサバを除くと、 α のそれに比較して大きい。

Table 1. Values of α and $\alpha(s)$ for seven prey fishes. Figures in parentheses indicate mean values.

| Prey fish | α | $\alpha(s)$ |
|--------------------------------|------------------|------------------|
| <i>Etrumeus teres</i> | 0.41–0.88 (0.66) | 0.21–0.86 (0.55) |
| <i>Spratelloides gracilis</i> | 0.26–0.88 (0.57) | 0.05–0.81 (0.27) |
| <i>Sardinops melanostictus</i> | 0.35–0.76 (0.56) | 0.13–0.88 (0.37) |
| <i>Engraulis japonicus</i> | 0.40–0.84 (0.59) | 0.05–0.93 (0.28) |
| <i>Hypoatherina bleekeri</i> | 0.31–0.47 (0.40) | 0.10–0.24 (0.19) |
| <i>Trachurus japonicus</i> | 0.19–0.49 (0.31) | 0.06–0.44 (0.20) |
| <i>Scomber japonicus</i> | 0.34–0.40 (0.37) | 0.12–0.16 (0.14) |

Table 2は $\alpha(s)$ が1のときの α と餌料体高/口径の値を表わしたものである。被捕食魚の体断面積が捕食者の開口面積と等しい場合でも、被捕食魚体高/口径は決して1を越えない。また、マアジは $\alpha=0.74$ であり、 α から見ればより大型の個体が捕食される可能性があると思われるが、実際には、餌料体高/口径の値は0.99であり、限界に達していると考えられる。

Table 2. Calculated values of α and the ratio of body depth of prey fish to depth of mouth gape of *Scombrops boops* (DP/DM) when $\alpha(s)$ is 1.0

| Prey fish | α | DP/DM |
|--------------------------------|----------|---------|
| <i>Etrumeus teres</i> | 0.85 | 0.73 |
| <i>Spratelloides gracilis</i> | 1.01 | 0.77 |
| <i>Sardinops melanostictus</i> | 0.98 | 0.97 |
| <i>Engraulis japonicus</i> | 0.99 | 0.79 |
| <i>Hypoatherina bleekeri</i> | 0.95 | 0.79 |
| <i>Trachurus japonicus</i> | 0.74 | 0.99 |
| <i>Scomber japonicus</i> | 0.99 | 0.87 |

体長40mm以下のムツでも、小型の魚類を捕食することは、開口面積から考えて充分可能であるが、実際にはコペポーダ類を主餌料としている。この理由を解明するには、ムツの遊泳力や生息環境などの検討が必要である。

捕食者の成長に伴う餌料生物体断面積の変化は、餌料生物体長の変化と比較してさほど激しくはない。しかし、甲殻類の体長との仔稚魚の体長差は大きく、したがって、ムツは魚類を飲み込むために、魚体を縦の方向にくわえなければならない。そのことから食性変化が起こる時期には、摂餌行動にも変化が起こるものと考えられる。

$\alpha(s)$ と α および被捕食者体高-捕食者口径関係から、マアジなどの側扁型魚では、餌料とされる場合に、その大きさを決定する要因が体高であると考えられる。縦扁型魚では、同様、体幅が決定要因となる。したがって、餌料の大きさを決定する要因は、その順位として第1に餌料の体高、体幅が重要であり、次に体高、体幅の複合的要因である体断面積が重要と考える。したがって被捕食者の体長は、その体型が考慮されなければ、さほど重要な要因とはならないと思われる。

VI. 嗅板重量

山田(1978)によると魚類の嗅板重量は、その魚類の摂餌が視覚に頼っているか嗅覚に頼っているかの判断をするための指標となり得ると報告している。そこで、ムツについて山田(1978)と同一の方法を用いて体重に対する嗅板重量の比率を求めると13.407となり、夜行性と言われるハモやアナゴ(山田1978)に近い値を示す。したがって、ムツは眼が大きく、視覚がかなり発達していると考えられるが、摂餌には嗅覚に頼るところも大きいと推定される。

総 合 考 察

摂餌・消化に関わる器官にいくつかの成長屈折が見られ、食性変化に対する適応現象と考えられるため、体長区分別に捕食活動の特徴を総括した。

体長40mm以下 餌料はコペポーダが主である。ムツの開口面積はその捕食に充分の大きさであり、捕食される小型甲殻類の体面積は、餌料の大きさを決定する要因にはならない。鰓耙は比較的発達して、小型甲殻類食に適応している。

体長40mm以上60mm以下 主餌類はイワシ類シラスへ移行する。体断面積から言えば、シラスは小型甲殻類と比較してさほど大きくはないが、その体長はムツの口径より大きい。したがってこ

の時期から、ムツは餌料魚類を捕獲した後、縦の方向に飲み込むという、より能動的な摂餌行動をとるようになると考えられる。体長40mmで下顎幅に成長屈折がおり、その後は優成長を示している。これは、甲殻類よりもはるかに大型で、運動力の優れた魚類を捕食することに対する形態適応の一つとみなすことができる。

体長60mm以上 100mm以下 主餌料はイワシ類シラスからイワシ類の幼魚、未成魚へ移行する。この時期には顎歯長、鋤骨歯帯長、鋤骨歯帯幅に成長屈折が見られ、体長60mmまではいずれも体長に対して優成長の傾向を示す。これはこの時期の食性変化に備えて、餌料の捕獲、保持器官としての形態的な完成を急ぐものと考えられる。この時期から、餌料魚類の体高、体幅が餌料の大きさを決定する要因となり、餌料の体型や大きさに対する選択性が生ずるものと考えられる。

体長 100mm以上 餌料は魚類の未成魚、成魚へ移行する。胃や腸の形態が完成し、また、この時期以降、全ての器官に成長屈折は見られず、形態的、生態的に魚食性への移行が完了すると考えられる。

最後に、材料の採集に御協力いただいた三重県志摩町片田の片田定置漁業協同組合と同町和具の和具定置漁業協同組合に厚く御礼申し上げる。なお、本研究の一部は昭和56年度文部省科学研究費補助金によった。記して謝意を表す。

文 献

- 江草周三, 1950. マボラの後期稚魚期における食性に関する二三. 日水誌, 15(11): 715-720.
- FUKUSHO, K., 1969. Notes on the intestinal convolution of the fishes of the Pomacentridae (Perciformes). *Japan. J. Ichthyol.*, 16(4): 135-142.
- 花瀬靖子, 1973. 対馬近海産タチウオの歯型と鰓耙の変化について. 西水研報, (43): 37-50.
- HUBBS, C. L. and K. F. LAGLER, 1958. Fishes of the Great Lakes region. *Bull. Cranbrook Inst. Sci.*, 26: 1-213.
- 伊藤 隆, 1951. 相対成長の推測統計学的考察. 科学教育研究会, 東京, 1-45.
- IVLEV, V. G., 1965. 魚類の栄養生態学 (児玉康雄・吉原友吉訳). たたら書房, 米子, 1-261.
- IWAI, T., 1956. Development of comb-like teeth in a salmonid fish, *Plecoglossus altivelis* TEMMINCK et SCHLEGEL. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 22(1): 12-15.
- , 1964. A comparative study of the taste buds in gill rakers and gill arches of teleostean fishes. *Bull. Misaki Mar. Biol. Inst. Kyoto Univ.*, (7): 19-34.
- 岩井 保, 1971. 魚学概論. 恒星社厚生閣, 東京, 1-228.
- 加福竹一郎, 1952. 日本産フナの種類. 特にその消化管の構造について. 淡水研報, 1(1): 41-51.
- KAFUKU, T., 1977. An ontogenetical study of intestinal coiling pattern on Indian major carps. *Bull. Freshwater Fish. Res. Lab.*, 27(1): 1-19.
- 河井智康, 1978. 資源解析のための魚類の比較生物学的研究—II. 魚類の食性に関する統計的考察. 東海水研報, (96): 75-87.
- 木村清志・井上慎吾・鈴木清, 1982. 熊野灘におけるムツの食性. 本誌, (9): 191-199.
- 駒田格知, 1980. アユ稚魚における歯系および歯の交換. 魚雑, 27(2): 144-155.
- , 1982. アユ稚魚における歯骨歯の成長と交換. 同誌, 29(2): 213-219.
- 松原喜代松・落合明・岩井保, 1974. 魚類学(上). 水産学全集, 9, 改訂三版, 恒星社厚生閣, 東京, 1-342.
- 松井 魁, 1938. 鮎 (*Plecoglossus altivelis* T. et S.) の消化系の発達と食性との関係. 水研誌, 33(10): 457-469.

- Мок, H. K., 1977. Gut patterns of the Acanthuridae and Zanclidae. *Japan. J. Ichthyol.*, 23(4): 215-219.
- , 1980. Notes on the classification of actinopterygian intestinal patterns. *Ibid.*, 27(1): 29-41.
- 清水三雄, 1969. 相対成長. 協同医書出版社, 東京, 1-269.
- 代田昭彦, 1970. 魚類稚仔期の口径に関する研究. 日水誌, 36(4): 353-368.
- , 1978 a. 魚類稚仔期の口径に関する研究-II 上顎長の魚種による特性. 同誌, 44(11): 1171-1177.
- , 1978 b. 魚類稚仔期の口径に関する研究-III 魚類の上顎比曲線と形態的・生態的变化. 同誌, 44(11): 1179-1182.
- 鈴木清・木村清志, 1978. オイカワ属魚類の摂餌に関する形態学的研究. 魚雑, 24(4): 251-260.
- SUYEHIRO, Y., 1942. A study of the digestive system and feeding habits of fish. *Japan. J. Zool.*, 10(1): 1-303.
- 山田梅芳, 1978. 摂餌生態に基づく底魚類の群集構造の研究-II. 形態的構造. 昭和53年度西日本底魚部会会議報告, 20-32.
- 山下秀夫, 1956. 九州西海域に於けるイワシ, アチ及びサバの腸型と食餌の関係について. 西水研業績, (7): 56-68.
- 矢田敏晃, 1982. ティラピア・ニロチカに関する研究-II. 動物プランクトンに対する選択性と口径との関係. 水産増殖, 29(4): 234-238.
- YASUDA, F., 1960 a. The relationship of the gill structure and food habits of some coastal fishes in Japan. *Rec. Oceanogr. Works Japan*, 5(2): 139-152.
- , 1960 b. The feeding mechanism in some carnivorous fishes. *Ibid.*, 5(2): 153-159.
- 横田滝雄・通山正弘・金井富久子・野村星二, 1961. 魚類の食性の研究. 南海水研報, (14): 1-234.