

キハダ人工種苗の相対成長と尾骨の形成

清水弘文^{*1}, 塩澤 聡^{*2}

Allometry and development of caudal skeleton of hatchery-reared yellowfin tuna *Thunnus albacares*

Hirofumi SHIMIZU^{*1} and Satoshi SHIOZAWA^{*2}

Abstract Yellowfin Tuna *Thunnus albacares* reared at Ishigaki Station, Japan Sea-Farming Association in May and June 1997 were examined to clarify the allometry and the developmental osteology of the caudal skeleton on 298 specimens. Fishes ranged in length from 3.1 to 40.8mm TL and in age from two to 30 days after hatching. A total of 73 wild juveniles were measured allometry in eight characters.

A growth winding point in allometry of hatchery-reared Yellowfin Tuna was observed in fishes from 10 to 15mm TL. Significant differences were found between wild and hatchery-reared fishes regarding allometry in eight characters measured.

The components of the caudal skeleton first appeared in fishes at 5.75mm TL. Ossification began at 11.30mm TL at the point of neural and haemal spines of pleural centrum 4. All the components of the caudal skeleton appeared at 31.50mm TL and half of them were ossified by that time.

Key Words: *Thunnus albacares*, Yellowfin Tuna, growth, caudal skeletonation

水産庁と遠洋水産研究所が中心となり、1970年から3カ年計画で始められたマグロ類養殖技術開発企業化試験の一環として、キハダ*Thunnus albacares*の人工授精および人工種苗の飼育試験が試みられ、ふ化後20日までの飼育に成功した(森ら, 1971)。1973年以降もこの試験研究は継続され、1976年にはふ化後37日までの飼育に成功している(原田ら, 1980)。この試験研究では発育初期におけるキハダの形態変化について報告されている。1986年からは日本栽培漁業協会(現水産総合研究センター栽培漁業部)でキハダの種苗生産試験が開始され^{*3}、1997年にはふ化後55日までの飼育に成功しており、中間育成を陸上水槽と海上生け簀で

行った際の顕著な成長差が報告されている^{*4}。以上のようにキハダ人工種苗に関する試験研究は数多くなされているものの、その相対成長に関する報告は極めて少なく(Kaji *et al.* 1999)、成長初期における骨格の形成に関する報告は見あたらない。また、澤田ら(1997)はクロマグロ人工種苗の成長が生産年度によって異なることを報告しており^{*5}、マグロ類では生産年度による成長差、人工種苗と天然魚との成長差が存在する可能性が考えられる。

本研究ではキハダ人工種苗の成長初期における相対成長を明らかにするとともに天然仔稚魚との比較を行った。また、人工種苗については、形態異常が比較的多

2004年2月6日受理 (Received on February 6, 2004)

水産総合研究センター業績 A 第48号 (Contribution No. A 48 from the Fisheries Research Agency)

^{*1} 西海区水産研究所石垣支所 〒907-0451 沖縄県石垣市字椀海大田148-446 (Ishigaki Tropical Station, Seikai National Fisheries Research Institute, 148-446 Fukai Ohta, Ishigaki 907-0451, Japan)

^{*2} 水産総合研究センター栽培漁業部小浜栽培漁業センター (旧社)日本栽培漁業協会小浜事業場 〒917-0117 福井県小浜市泊26号松前 (Obama Station, Japan Sea-Farming Association, Matsumae 26 Tomari, Obama 917-0117, Japan)

^{*3} 升間主計, 1991: キハダ。日本栽培漁業協会事業年報, 平成5年度, pp.50-52.

^{*4} 塩澤 聡, 1999: キハダ。日本栽培漁業協会事業年報, 平成9年度, pp.206-211.

^{*5} 澤田好史, 岡田貴彦, 向井良夫, 米島久司, 宮下 盛, 村田 修, 熊井英水, 1997: 人工孵化クロマグロの初期発育その成長と骨格形成。平成9年度日本水産学会春季大会講演要旨集, p.110.

発すると思われる尾骨(清水, 藤田, 1985; 清水, 1987; 清水, 竹内, 2002)の形成過程を観察し, 記載した。

材料と方法

本研究で用いたキハダ仔稚魚の親魚は日本栽培漁業協会八重山事業場(現水産総合研究センター栽培漁業部八重山栽培業行センター)地先の生け簀で養成されていた5歳魚である。1997年5月1, 2日に自然産卵によって得られた受精卵を100Lふ化水槽で1晩ふ化管理を行い, 沈下卵を取り除いた後, 浮上卵31万粒をコンクリート製, 八角形の60 m³水槽に収容し, ふ化した仔魚225,000尾を種苗生産用に飼育した。その際のふ化率は72.6%であった。卵の収容時の水温は25°Cとし, その後は27°Cを維持するよう調温した。餌料系列は, ふ化後2日目からS型ワムシ, 8日目からL型ワムシ, 13日目からアルテミア, 15日目からハマフエフキ *Lethrinus nebulosus* のふ化仔魚, 18日目からシラスミンチ, 19日目からスジアラ *Plectropomus leopardus* の冷凍卵とし, 各段階でオーバーラップするように給餌した。なお, ふ化後22・23日目にはハマフエフキふ化仔魚が不足したため, ガザミ幼生を与えた。ワムシとアルテミアの栄養強化は油源(キリンビール, 200g/m³)と冷蔵濃縮のナンクロロプシスで行った。また, シラスミンチには総合ビタミンを添加した。以上のように飼育したキハダ仔稚魚を適宜取り上げ, ふ化後2~30日, 全長3.1mm~40.8mmの298尾を材料として用いた (Fig. 1)。取り上げた仔稚魚は5%海水ホルマリ

ンで固定後, 実体顕微鏡下でマイクロメーターまたはノギスによって0.01mmの単位まで外部形態の計測を行い, 相対成長について検討した。また, Dingerkus and Uhler (1977)の方法に準じて軟骨・硬骨二重染色透明標本を作成し, 尾骨の形成過程を実体顕微鏡下で観察し, 記載した。骨格の名称は藤田(1990)およびPotthoff(1974)に従った。相対成長については天然仔稚魚との比較を行った。比較に用いた天然仔稚魚は南西諸島周辺海域において1999年と2000年の5月に鹿児島大学所属の敬天丸により, 口径130cmのまる稚ネットの表層曳きで採集された全長5.1~12.7mmの15尾, 1999年の6月に遠洋水産研究所所属の俊鷹丸により, ボンゴネットの傾斜曳きで採集された全長4.3~4.7mmの3尾, 2000年の6月に西海区水産研究所所属の陽光丸により, 口径150cmの稚魚ネットの表層曳きで採取された全長3.8~9.5mmの55尾の計73尾である (Table 1)。

結 果

相対成長

人工種苗では全長に対する頭長, 吻長, 上顎長, 下顎長および体高の相対値は全長約10mmまで急速に増加し, その後漸減した (Fig. 2 A, C, D, E, G)。眼径では, 全長約15mmまで徐々に増加し, それ以降漸減した (Fig. 2 B)。肛門前部長では全長約14mmまで徐々に増加し, それ以降はほぼ一定となった (Fig. 2 F)。尾柄高では全長約10mmまでは急速に増加し, 10mmから15mm付近まで急減し, その後漸減した (Fig. 2 H)。

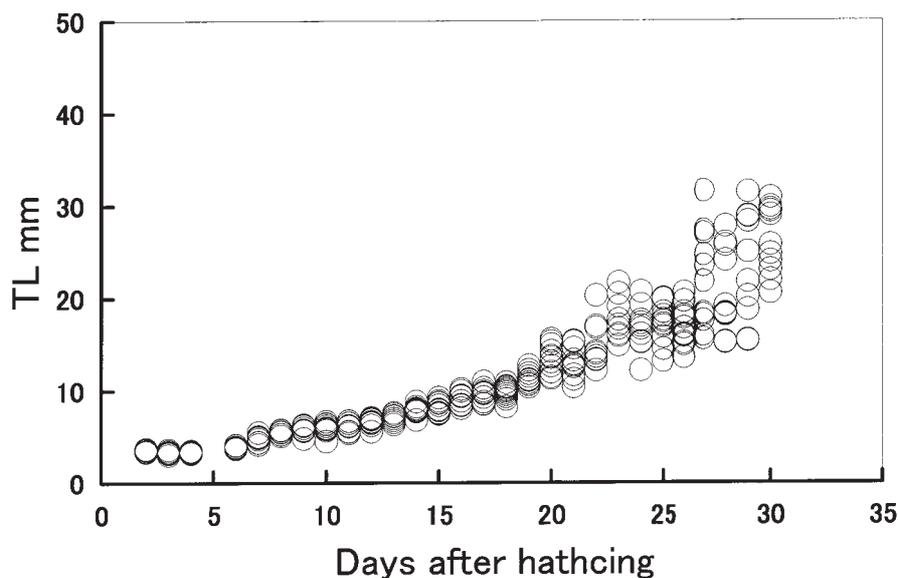


Fig. 1. Growth of reared fish samples

Table 1. Sampling records of *Tunnus albacares* on wild fish data used in this study

Date	Location		Gear/Method	No. of individuals	TL mm	Res. ves.
May 13, 1999	24°21.0'N	125°47.2'E	maruchi-net/surface	3	9.0-10.0	Keiten Maru
May 15, 1999	24°55.5'N	126°32.7'E	maruchi-net/surface	2	7.9-9.4	Keiten Maru
Jun. 22, 1999	28°45.7'N	129°03.6'E	bongo-net/oblique	2	4.3-4.7	Shunyo Maru
Jun. 28, 1999	28°00.2'N	130°00.7'E	bongo-net/oblique	1	4.3	Shunyo Maru
May 15, 2000	23°54'N	124°38'E	maruchi-net/surface	2	8.5-12.7	Keiten Maru
May 15, 2000	24°00'N	124°30'E	maruchi-net/surface	2	5.3-5.5	Keiten Maru
May 15, 2000	24°04'N	124°29'E	maruchi-net/surface	2	5.3-5.9	Keiten Maru
May 16, 2000	24°10'N	124°34'E	maruchi-net/surface	3	5.4-7.1	Keiten Maru
May 16, 2000	24°14'N	124°32'E	maruchi-net/surface	1	5.1	Keiten Maru
Jun. 5, 2000	24°20'N	125°20'E	larva-net/surface	2	5.0-5.4	Yoko Maru
Jun. 5, 2000	24°40'N	125°00'E	larva-net/surface	4	4.1-6.3	Yoko Maru
Jun. 5, 2000	24°40'N	124°50'E	larva-net/surface	2	5.5-6.0	Yoko Maru
Jun. 5, 2000	24°30'N	125°00'E	larva-net/surface	4	5.5-8.9	Yoko Maru
Jun. 5, 2000	24°20'N	125°10'E	larva-net/surface	8	4.5-6.7	Yoko Maru
Jun. 5, 2000	24°20'N	125°00'E	larva-net/surface	2	5.2-5.5	Yoko Maru
Jun. 5, 2000	24°30'N	124°50'E	larva-net/surface	2	5.6-6.1	Yoko Maru
Jun. 6, 2000	24°20'N	124°50'E	larva-net/surface	2	4.1-4.5	Yoko Maru
Jun. 6, 2000	24°00'N	124°50'E	larva-net/surface	2	4.3-4.7	Yoko Maru
Jun. 6, 2000	23°50'N	124°40'E	larva-net/surface	2	5.5	Yoko Maru
Jun. 7, 2000	24°10'N	124°40'E	larva-net/surface	4	4.9-9.5	Yoko Maru
Jun. 7, 2000	24°20'N	124°30'E	larva-net/surface	7	3.9-6.7	Yoko Maru
Jun. 7, 2000	24°00'N	124°40'E	larva-net/surface	5	4.0-5.2	Yoko Maru
Jun. 7, 2000	24°00'N	124°30'E	larva-net/surface	1	5.2	Yoko Maru
Jun. 7, 2000	24°00'N	124°20'E	larva-net/surface	2	4.7-6.0	Yoko Maru
Jun. 7, 2000	23°50'N	124°30'E	larva-net/surface	3	4.5-7.7	Yoko Maru
Jun. 8, 2000	23°50'N	124°20'E	larva-net/surface	2	3.8-6.0	Yoko Maru
Jun. 8, 2000	24°10'N	124°10'E	larva-net/surface	1	6.8	Yoko Maru

天然魚と人工種苗の成長を比較するため、天然魚と同じ全長範囲から天然魚と同数の人工種苗を無作為抽出し、横軸に全長、縦軸に頭長、眼径、吻長、上顎長、下顎長、肛門前部長、体高および尾柄高をそれぞれとり直線回帰させた後、共分散分析によって傾きと y 切片に関する差の検定を行ったところ、天然魚と人工種苗では頭長、眼径、吻長、上顎長、下顎長、肛門前部長および体高において傾きに有意差が認められた ($p < 0.001$)。尾柄高では傾きに有意差は認められなかったものの、y 切片において有意差が認められた ($p < 0.001$)。すなわち、今回計測した 8 形質のいずれの形質においても天然魚と人工種苗の間で成長に有意差が認められた。特に、頭長、体高および尾柄高は人工種苗にくらべ天然魚で大きい傾向が伺えた。

尾骨の形成

全長5.75mm (5.50mm NL)、ふ化後8日で第1、第2下尾骨が出現した (Fig. 3 A)。全長5.80mm (5.53 mm NL)、ふ化後9日で準下尾骨が出現した (Fig. 3 B)。全長6.50mm (6.32mm NL)、ふ化後10日で第3、第4下尾骨および尾鰭椎前第2椎体血管棘が出現し、第1、第2下尾骨が癒合した (Fig. 3 C)。全長7.10mm (6.85mm NL)、ふ化後11日で第1、2上尾骨、尾鰭椎

前第3、第4椎体神経棘および血管棘が出現し、脊索後端の上屈が始まった (Fig. 3 D)。全長7.50mm (6.90 mm NL)、ふ化後12日で特化神経弓門が出現した (Fig. 3 E)。全長8.50mm (7.50mm SL)、ふ化後14日で第5下尾骨および尾部棒状骨が出現し、脊索後端の上屈が完了した (Fig. 3 F)。全長10.4mm (9.20mm SL)、ふ化後16日で尾鰭椎前第2、第3、第4椎体が出現し、第3、第4下尾骨が癒合した (Fig. 3 G)。全長11.30mm (9.98mm SL)、ふ化後17日で尾鰭椎前第4椎体血管棘および神経棘先端が骨化した (Fig. 3 H)。全長13.20mm (11.45mm SL)、ふ化後19日で尾神経骨が出現した (Fig. 3 I)。全長15.15mm (13.05mm SL)、ふ化後20日で尾鰭椎前第2～4椎体神経棘および血管棘、準下尾骨、第2～4下尾骨および特化神経弓門の各基部が骨化し、第2、第3下尾骨が癒合した。また、尾鰭椎前椎体血管棘後軟骨が出現した (Fig. 3 J)。全長20.50mm (17.7mm SL)、ふ化後25日で上尾骨の骨化が始まった (Fig. 3 K)。全長31.50mm (27.30mm SL)、ふ化後29日で尾鰭椎前椎体神経棘後軟骨が出現し、尾骨を構成する骨要素が全て出そろった。この段階で尾骨を構成する骨要素のほぼ半分が骨化した (Fig. 3 L)。

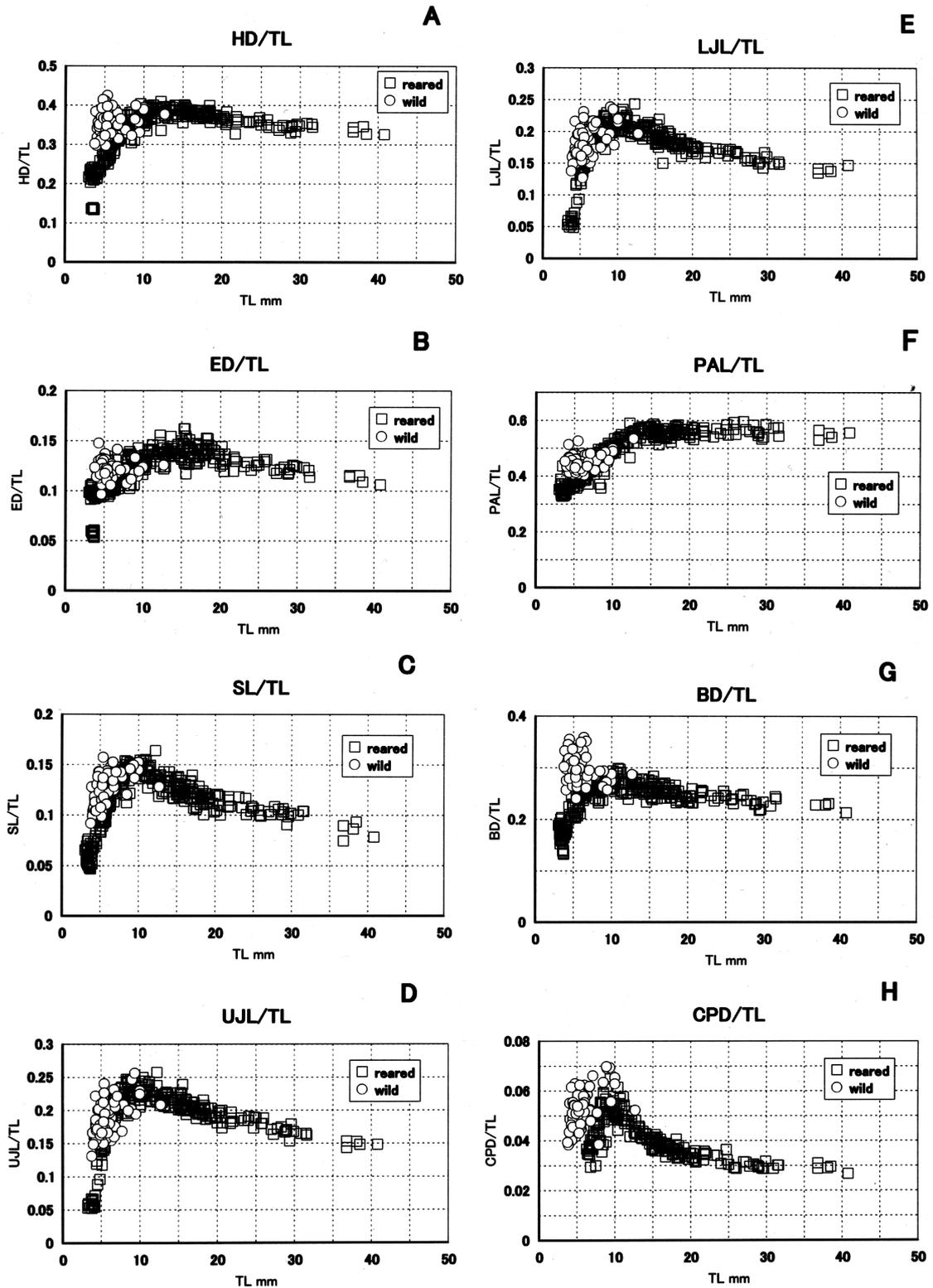


Fig. 2. Allometry of larvae and juveniles of *Thunnus albacares*. A: Relationship of the ratio of head length (HL) to total length (TL) and TL, B: relationship of the ratio of eye diameter (ED) to TL and TL, C: relationship of the ratio of snout length (SL) to TL and TL, D: relationship of the ratio of upper jaw length (UJL) to TL and TL, E: relationship of the ratio of lower jaw length (LJL) to TL and TL, F: relationship of the ratio of preanal length (PAL) to TL and TL, G: relationship of the ratio of body depth (BD) to TL and TL, H: relationship of the ratio of caudal peduncle depth (CPD) to TL and TL. ○; wild, □; reared.

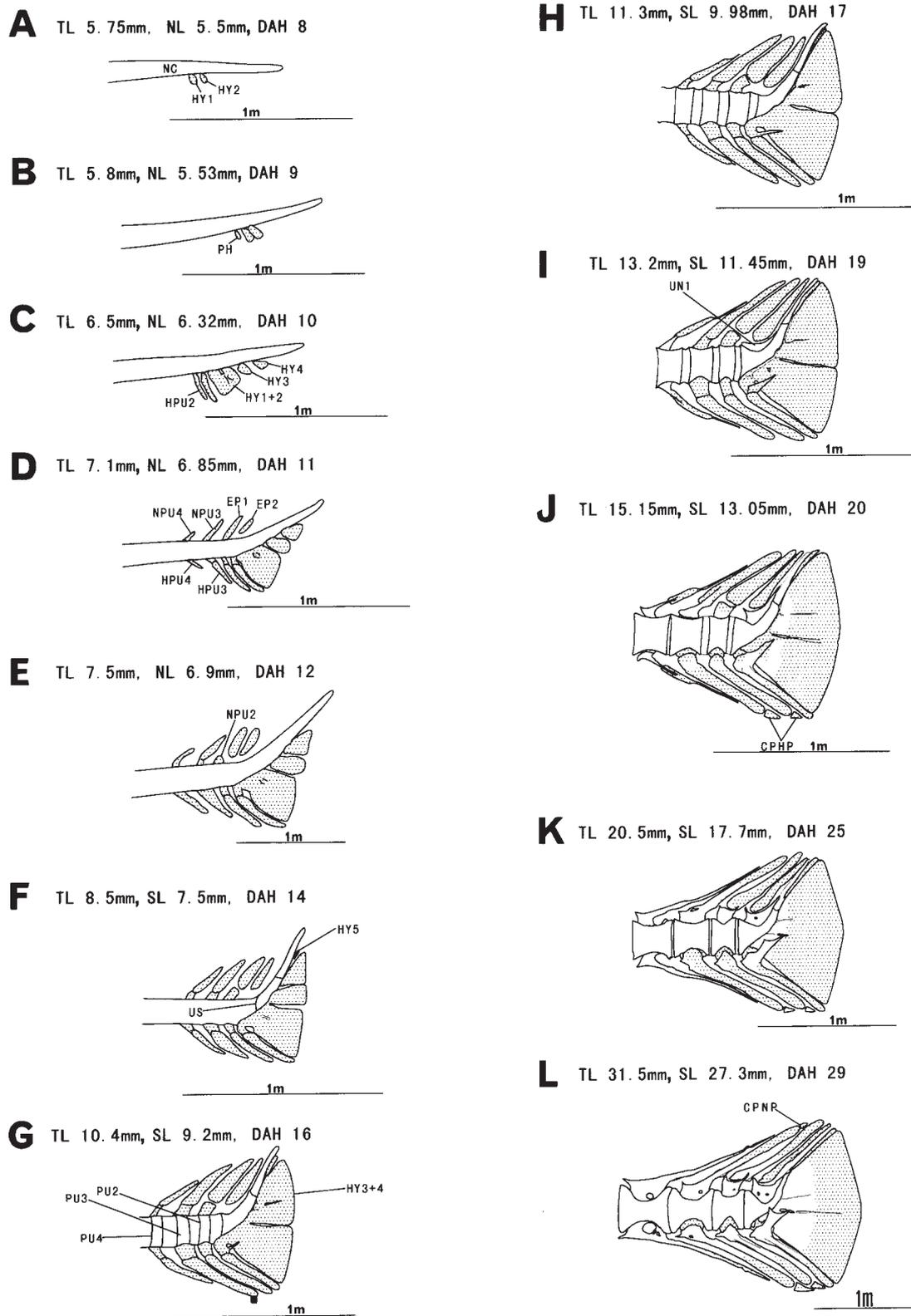


Fig. 3. Development of caudal skeleton in *Thunnus albacares*. The stippled areas show cartilage. The open area shows the ossified portions. cphpu, post-haemal spine cartilage of pleural centrum; cpnpu, post-neural spine cartilage of pleural centrum, EP, epural; HPY, haemal spine of pleural centrum; HY, hypural; NC, notochord; NPU, neural spine of pleural centrum; PH, parhypural; PU, pleural centrum; UN, uroneural; US, urostyle, DAH stands for days after hatching.

考 察

澤田ら (1997) はクロマグロ人工種苗の相対成長について検討し, 年々成長屈曲点が小さくなる傾向があることを*⁵ 升間ら (1999) はクロマグロ人工種苗の相対成長における成長屈曲点は, 全長 8 mm と 13 mm の 2 カ所に認められると報告している*⁶。また, 魚谷ら (1990) は天然クロマグロの相対成長における成長屈曲点は全長 5 mm 付近に認められるとしている。このように, キハダの近縁種であるクロマグロでは, 原因は未解明であるが人工種苗と天然魚の違い, 人工種苗でも年によって成長に違いがあると考えられる。

本研究では, キハダ人工種苗の相対成長における成長屈曲点は, 頭長, 眼径, 吻長, 上顎長, 下顎長, 肛門前部長, 体高および尾柄高のいずれの形質において

も全長10から15mmの間の1カ所のみ認められ, また, 天然魚と人工種苗の成長に有意差が認められた。Kaji *et al.* (1999) は, 1996年に日本栽培漁業協会八重山事業場で生産されたキハダの相対成長について検討しており, 相対成長における成長屈曲点は体長 4 ~ 5 mm と 11 ~ 14 mm の 2 カ所に認められたと報告している。クロマグロと同様にキハダの相対成長においても, 人工種苗と天然魚の違い, 人工種苗でも年による違いがあると考えられる。

キハダ近縁種の尾骨の形成に関してはPotthoff (1975) がタイセイヨウマグロ *Thunnus atlanticus* の天然魚で, 清水ら (1998) が飼育ハガツオで報告している。タイセイヨウマグロおよびハガツオの尾骨の構成要素はキハダと同様である。タイセイヨウマグロではキハダおよびハガツオにくらべ尾骨を構成する要素

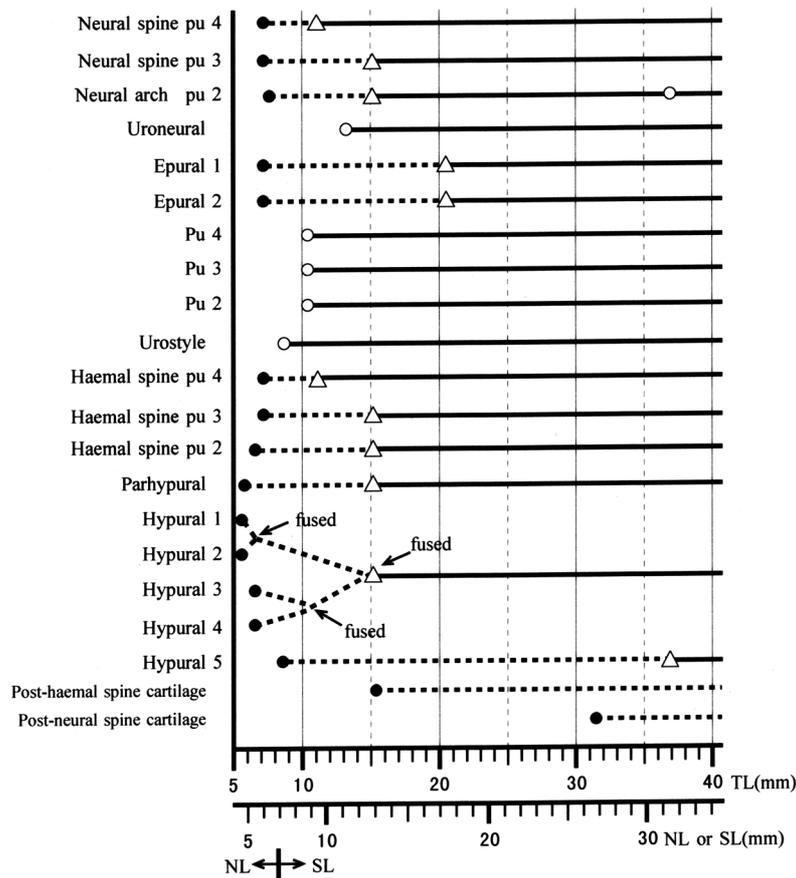


Fig. 4. Scheme of the developmental plan for the components in the caudal skeleton of *Thunnus albacares*. ●, component appearance; △, initial ossification; ○, complete ossification; Broken line, cartilaginous stage; Solid line, ossification.

*⁵ 升間主計, 手塚信弘, 河村功一, 岡内正典, 細谷和海, 1999: クロマグロ仔稚魚骨格形成と異常について, 平成9年度日本水産学会春季大会講演要旨集, p.110.

の出現体長は小さく、脊索長5.1mmで癒合した第1および第2下尾骨、第3下尾骨、準下尾骨、尾鰭椎前第2、第3、および第4椎体血管棘が出現している。これに対し、キハダでは脊索長5.50mm (5.75mm TL)で第1、第2下尾骨が出現し、ハガツオでは脊索長5.68mm (6.00mm TL)で第1、第2、第3下尾骨および準下尾骨が出現している。その後の尾骨を構成する骨要素の出現、骨化の進行状況もタイセイヨウマグロはキハダおよびハガツオに比較して早い。3種の間でもっとも異なるのは、尾部棒状骨および尾鰭椎前第2～4椎体出現時期で、タイセイヨウマグロでは脊索長6.5mmで尾部棒状骨が出現しているのに対し、キハダでは脊索長7.50mm (8.50mm TL)で、ハガツオでは脊索長9.20mm (10.40mm TL)で出現している。尾鰭椎第2～4椎体ではタイセイヨウマグロは脊索長7.8～8.2mmで出現するのに対し、キハダでは脊索長9.20mm (10.40mm TL)で、ハガツオでは脊索長10.80mm (12.56mm TL)で出現している。尾部棒状骨および尾鰭椎前第2～4椎体以外ではキハダとハガツオの尾骨を構成する要素の出現体長はほぼ同じであるが、骨化の進行状況はハガツオの方が体長で2～3mm程度早い。しかし、尾骨を構成する骨要素の出現順位、骨化の進行過程に関しては3種の間ではほぼ同様である (Fig. 4)。本研究で用いたキハダ天然魚では全長10mm以上のサンプルが極めて少なく、10mm以下のサンプルでは染色状態が悪く、尾骨の形成に関して天然魚と人工種苗との比較ができなかった。相対成長には差が認められたことから、骨格の形成に関しても差が認められる可能性があり、今後検討していかなければならない。

また、人工種苗を天然魚に近づけるため、飼育方法等の改善をしていく必要がある

謝 辞

水産総合研究センター栽培漁業部小満目栽培漁業センター (旧日本栽培漁業協会八重山事業場) の廣川潤場長には原稿の校閲をして頂いた。キハダの天然稚魚の採集では、鹿児島大学の松岡達郎教授、安楽和彦助教授、敬天丸の嶋田起宣船長、東政能船長、遠洋水産研究所の山田陽巳温帯性まぐろ研究室長、俊鷹丸の飯田恵三船長、西海区水産研究所所属陽光丸の築山一雄船長、石垣支所の矢野和成沖合資源研究室長、小菅丈治主任研究官にご協力頂いた。また、統計処理については石垣支所沿岸資源研究室の栗原健夫研究員にご協力頂いた。ここに記して深謝の意を表す。

文 献

- Dingerkus, G. and Uhler L. D., 1977: Enzyme clearing of alcian blue stained whole small vertebrates for demonstration of cartilage. *Stain Technol.*, **52**, 229-232.
- 藤田 清, 1990: 魚類尾部骨格の比較形態図説, 東海大学出版会, 東京, pp.430-433.
- 原田輝雄, 村田 修, 小田誠二, 1980: キハダ仔稚魚の飼育と形態の変化. 近畿大学農学部紀要, **13**, 33-36.
- Kaji T., Tanaka M., Oka M., Takeuchi H., Ohsumi S., Teruya K., and Hirokawa J., 1999: Growth and morphological development of laboratory-reared yellowfin tuna *Thunnus albacares* larvae and early juveniles, with special emphasis on the digestive system. *Fish. Sci.*, **65**, 700-707.
- 森 慶一郎, 上柳昭治, 西川康夫, 1971: キハダ人工ふ化・飼育における仔魚の形態変化. 遠洋水研報, **5**, 219-231.
- Potthoff T., 1974: Osteological development and variation in young tunas, genus *Thunnus* (Pisces, Scombridae), from the Atlantic Ocean. *Fish. Bull.* **72**, 563-588.
- Potthoff T., 1975: Development and structure of the caudal complex, the vertebral column, and the pterygiophores in the black fin tuna (*Thunnus atlanticus*, pisces, Scombridae). *Bull. Marine Sci.* **25**, 205-231.
- Rodriguez-Roda J. and Dicenta A. 1981: Spawning grounds of *Thunnus thynnus*, *Auxis thazard* and *Sarda sarda* off the Spanish and Moroccan coasts. *Collect. Vol. Sci. Pap. Iccat.* **15**, 278-283.
- 清水弘文, 荒井寛, 竹内健, 1998: 人工採苗ハガツオの相対成長及び尾骨の形成. 西水研報, **76**, 11-18.
- 清水弘文, 藤田矢郎, 1985: 人工採苗イシダイの骨格異常. 水産増殖, **33**(3), 149-156.
- 清水弘文, 1987: 人工採苗クロダイの骨格異常. 東海水研報, **122**, 1-11.
- 清水弘文, 竹内宏之, 2002: 飼育クロマグロの骨格異常. 水産増殖, **50**(1), 71-78.
- 魚谷逸朗, 齊藤 勉, 平沼勝男, 西川康夫, 1990: 北西太平洋産クロマグロ *Tunnus thynnus* 仔魚の食性. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **56**, 713-717.