

海産アユと人工採苗アユの耳石形態の差異について

井塚 隆

The morphological studies on differences in otolith between amphidromous and hatchery-reared Ayu *Plecoglossus altivelis*.

Takashi IZUKA*

Abstract

The morphological feature and growth increment deposition of otolith of the amphidromous and hatchery-reared ayu, *Plecoglossus altivelis* were studied. Three types of sagitta, type A, type B and type AB, were easily distinguished under observation with a light microscope and SEM. The type A was brownish in color with smooth distal surface and had exceedingly well-defined increments. The type B was transparent with rough distal surface and had unsteady increments that were unable to count. The type AB showed the secondary growth of type B on the periphery of type A sagitta which were regarded as type B sagitta in the adult individuals. Type A was observed in all the specimens of the amphidromous ayu and some of hatchery-reared ayu. Type B and AB were observed only in hatchery-reared ayu. It was suggested that discriminations of sagitta type is useful to identify the hatchery-reared ayu in the migrational survey on the rivers by cognition of appearance rate of type B and AB in liberation stocks.

The remarkable defects of the lapillus and slightly deficiency of the sagitta and asteriscus were observed on the hatchery-reared ayu. The influence of these defects is unknown, but it seems to be needed that detailed observations of otolith formation conduct with environmental factors during embryogenesis at the anatomical level.

緒 言

日本で見られる天然アユは海産アユ(両側回遊型)と湖産アユ(陸封型)に大別され、これらは遺伝的組成(Nishida and Takahashi, 1978¹⁾ : 谷口他, 1983²⁾ : Nishida, 1985³⁾, 1986⁴⁾ : 関他, 1988⁵⁾ : Takagi et al., 1999⁶⁾ : Seki et al., 1999⁷⁾ や生殖形質(関他, 1984⁸⁾ : Nishida, 1986⁴⁾ : 関・谷口, 1988a⁹⁾)などが異なっている。また、人工採苗アユは海産もしくは湖産を由来としており、その継代数を重ねたものは独自の遺伝的組成を有することが知られている(谷口他, 1983²⁾)。近年、遊漁者の増加にともない、アユ種苗の放流が盛んにおこなわれるようになり、多くの河川ではこれらの種苗が混在するようになった。

河川における種苗の動向を調査するには、種苗の由来を集団もしくは個体レベルで認識することが必要である。アロザイム分析やmtDNA分析を用いた遺伝学的研究では、標本群の遺伝的組成から再生産に関与している種苗が集団レベルで推定されている(関・谷口, 1988a⁹⁾, 1988b¹⁰⁾ :

Seki et al., 1994¹¹⁾ : Pastene et al., 1991¹²⁾)。また、脂鱗や胸鱗の切除、アリザリンコンプレクソンやテトラサイクリンによる耳石の染色(Tsukamoto, 1985¹³⁾, 1988¹⁴⁾ : Tsukamoto and Kajihara, 1987¹⁵⁾)を標識とした放流調査では、自然水域における種苗の動向が調べられている(e.g. 古川, 1998¹⁶⁾)。しかしながら、これらの遺伝学的解析や標識放流は経済的・労力的な制約をとまうことがある。

そこで、種苗に生得的・特異的な形態形質を明らかにし、その差異から個体の種苗由来を識別できれば、より簡便な方法といえる。これまで、外部形態(松井, 1950¹⁷⁾)、脊椎骨数(駒田, 1977¹⁸⁾)、鱗相(大島, 1956¹⁹⁾ : 関他, 1998²⁰⁾)、側線上部横列鱗数(anonymous, 1993²¹⁾)、下顎側線孔数(熊本県水産研究センター内水面研究所, 2000²²⁾)、ガロキサンチンの有無(Yamashita et al., 1998²³⁾, 1999²⁴⁾)などについて、種苗に特徴的な形質が報告されているが、自然水域での調査における実用性は判然としていない。一方、耳石により種苗由来を個体識別する方法も検討さ

Table 1 Samples used in present study.
表 1 本研究所で使用した標本

sampling site	origin**	date of collection	sample size	body length range in mm (average)	growth stage
amphidromous ayu			(91)* ³		
•Koshigoe, Sagami Bay	-	Mar. 8, 1999	60	30-71 (44.3)	juvenile
•River Sagami	-	Mar. 23, 1999	31	60-82 (67.5)	juvenile
hatchery-reared ayu			(314)		
•Kanagawa Pref.* ¹	LL&AM (F ₂₂)	Aug. 2, 1999	38	134-225 (161.6)	adult
•Gunma Pref.* ²	LL&AM (F ₂₉)	Sep., 1999	46	156-186 (167.3)	adult
•Kanagawa Pref.	LL&AM (F ₂₃)	Dec. 17, 1999 - Mar. 26, 2000	120	32-98 (63.5)	juvenile
• do.	AM (F ₁)	do.	110	26-58 (41.9)	juvenile

*1 Kanagawa prefectural fisheries research institute, inland water experimental station.

*2 Gunma fisheries experiment station.

*3 Subtotal of samples within each form.

*4 AM : amphidromous fish, LL : land-locked fish, (F_n) : generation number after introduction.

れている。梅澤・塚本(1990)²⁰⁾は湖産と海産の稚アユについて、耳石の成長率や微細構造に違いがあるとし、判別率に問題があるものの実用可能としている。井口・今野(1991)²⁶⁾は海産、湖産、人工採苗アユについて、耳石の輪紋間隔にそれぞれ差異があることを明らかにし、河川への標識放流と採捕により、その判別形質の実用性を示している。また、Otake and Uchida (1998)²⁷⁾は耳石に蓄積されたストロンチウムとカルシウムの濃度比 (Sr/Ca比) が種苗で異なり、海産アユを識別できることを明らかにしている。しかしながら、これらの方法も耳石研磨や日周輪数などの繁雑さがともない、大量の標本を解析するのは困難なことと思われる。

そこで本研究では、海産アユと人工採苗アユから抽出した耳石の外部形態を観察し、従来の解析方法よりも簡便に種苗由来を識別できる可能性について検討した。また、人工採苗アユについては、成長にともなう耳石の形態変化も観察し、この識別方法が河川調査に応用できるか否かについても考察を加えた。さらに、人工採苗アユの稚魚において、耳石の顕著な欠損が認められたので合わせて報告する。

材料および方法

海産アユの耳石観察

1999年3月8日に相模湾の腰越漁港で漁獲された稚アユ60尾と、同年3月23日に相模川の相模大堰で採捕した遡上アユ31尾の計91尾を用いた (Table 1)。これらの供試魚から左右の扁平石 (sagitta) を取り出し、蒸留水で洗浄した後、1.5mlエッペンチューブ内の99%エタノールに入れて保存した。外部形態観察は、スライドグラスに置いた扁平石に流動パラフィンを滴下して、光学顕微

鏡(50~200倍) (Nikon, OPTIPHOT-2) でおこない、長径と短径を接眼マイクロメーターで測定した。ただし、長径は前後方向に最も長い軸 (塚本, 1993²⁸⁾)、短径は背腹方向に最も長い軸とした。また、一部の扁平石は走査型電子顕微鏡 (JEOL, JSM-5310LV) により、表面構造と輪紋の形成を観察した。表面構造は、金コーティング (JEOL, JFC-1500) した扁平石の両面を観察した。研磨標本は、扁平石をシアノアクリレート系接着剤で包埋し、耐水紙ヤスリ (#1500~2000) と粒径0.3ミクロンのアルミ粉末液 (BUEHLER, ALPHA MICROPOLISH ALU MINA) により、聴神経溝の反対面から核付近まで研磨した後、2%塩酸で1~2分間エッチングし、金コーティングして作成した。

人工採苗アユの耳石観察

人工採苗アユの成魚は、当試験場において海産アユから継代飼育された親魚候補のうち、1999年8月2日にサンプリングした38尾 (F₂₂: 継代数22) を使用した (Table 1)。さらに、群馬県水産試験場において海産と湖産アユから継代飼育され、1999年9月の種苗生産に使用された親魚46尾 (F₂₉: 継代数29) をもちいた (Table 1)。これらの供試魚から左右の扁平石を取り出して、前述の方法により観察をおこなった。人工採苗アユの稚魚については、継代アユと海産系アユをもちいて、成長にともなう扁平石の形態と耳石3種 (扁平石、礫石、星状石) の有無を観察した。継代アユ (F₂₃: 継代数23) は1999年10月7日にふ化した当試験場産のアユをもちいて、12月17日から2000年3月26日まで (ふ化後70~180日)、10日ごとに10尾づつ水槽より無作為に採集した計120尾を供試魚とした (Table 1)。これらは、0.5~0.6%人工

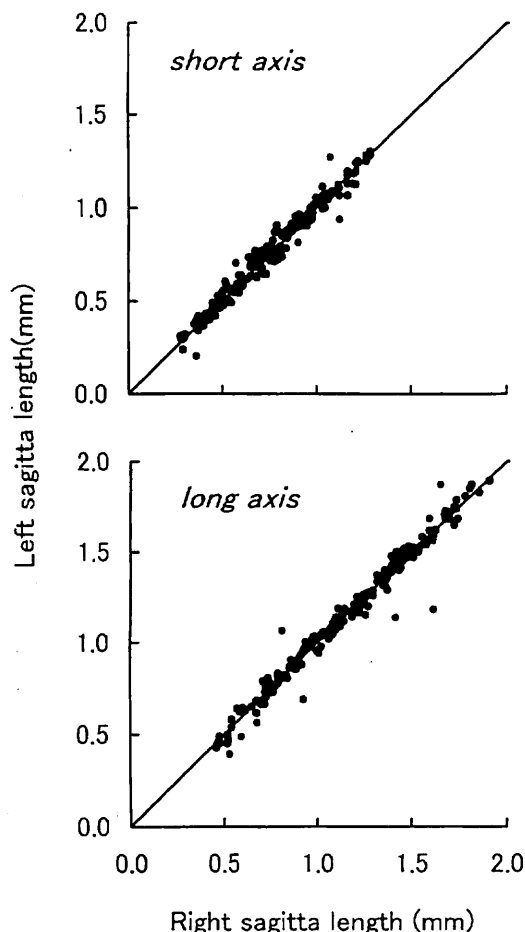


Fig.1 Relationships between right and left sagitta from 230 juveniles of ayu reared under laboratory condition. The data do not deviate significantly from the displayed line of one-to-one correspondence ($p>0.05$).

図1 人工採苗アユにおける左右扁平石の大きさの比較

海水をもちいて、ふ化後161日目まで4t、それ以降は10tの円形パンライト水槽において循環式飼育をおこなった。水温は約20℃を保つようにボイラーで加温した。また、ワムシはふ化後2~38日目まで、アルテミアは25~72日目までそれぞれ給餌した。配合飼料はふ化後9日目から、体重の3%量を上限に1日4~6回に分けて与えた。一方、海産系アユは1999年3月に相模湾で捕獲され、養殖業者で中間育成された後、当試験場に移収した親魚から採苗した稚魚(F1:継代数1)をもちいた。1999年10月17日にふ化した種苗群のうち、1999年12月17日から2000年3月26日まで(ふ化後60~160日)、10日ごとに10尾ずつ採集した計110尾を供試魚とした(Table 1)。飼育方法は前述の人工継代アユに準じた。ただし、ふ化後86日目までは4t、続いて143日目までは10tの円形パンライト水槽において飼育し、144日目以降は50tコンクリート水槽に収容した。また、ワムシはふ化後2~53日目まで、アルテミアは23~73日目までそれぞれ給餌し、配合飼料は8日目から与えた。これらの供試魚について、

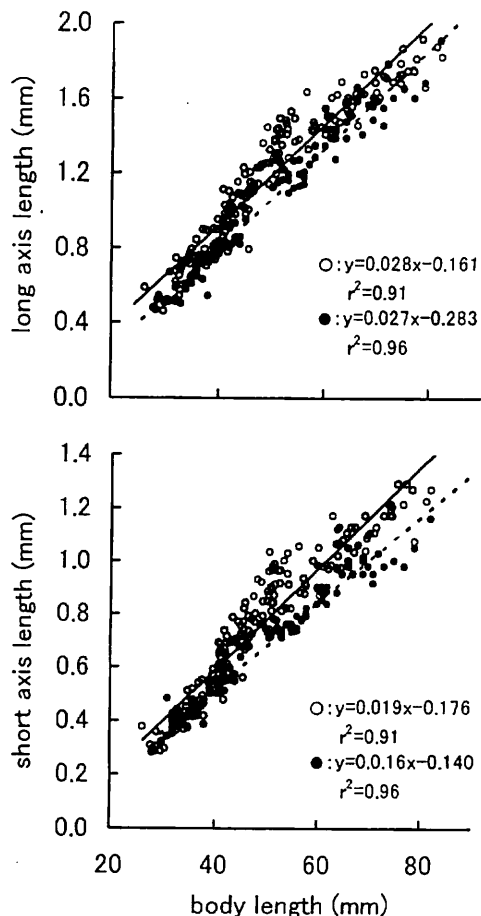


Fig.2 Relationship between body lengths and size of right sagitta in hatchery-reared fishes (open circles, solid line) and amphidromous fishes (closed circles, broken line).

図2 人工採苗アユ(○)と海産アユ(●)における体長と右側扁平石の大きさ

光学顕微鏡下で左右の耳石3種をそれぞれ取り出し、その有無を判定した。また、扁平石については前述の方法により外部形態を観察するとともに、長径と短径を測定し、海産アユの扁平石と形態を比較した。

結 果

海産アユと人工採苗アユの耳石形態

当試験場で飼育した人工採苗アユ稚魚(継代アユと海産系アユ)の扁平石において、長径と短径に左右の差異は認められなかった($p>0.05$) (Fig. 1)。そこで、右扁平石の長径と短径について、これら人工採苗アユと海産アユで比較したところ、人工採苗アユで扁平石が大きい傾向が認められた($p<0.01$) (Fig. 2)。

海産アユと人工採苗アユの扁平石を観察したところ、内リンパ液に接している面(凹面)の表面構造と輪紋の形成に明瞭な違いが認められる3つのタイプに分けることができた。これらを仮にAタイプ、Bタイプ、ABタイプとし(Fig. 3-5)、各扁平石タイプの特徴を以下に示す。

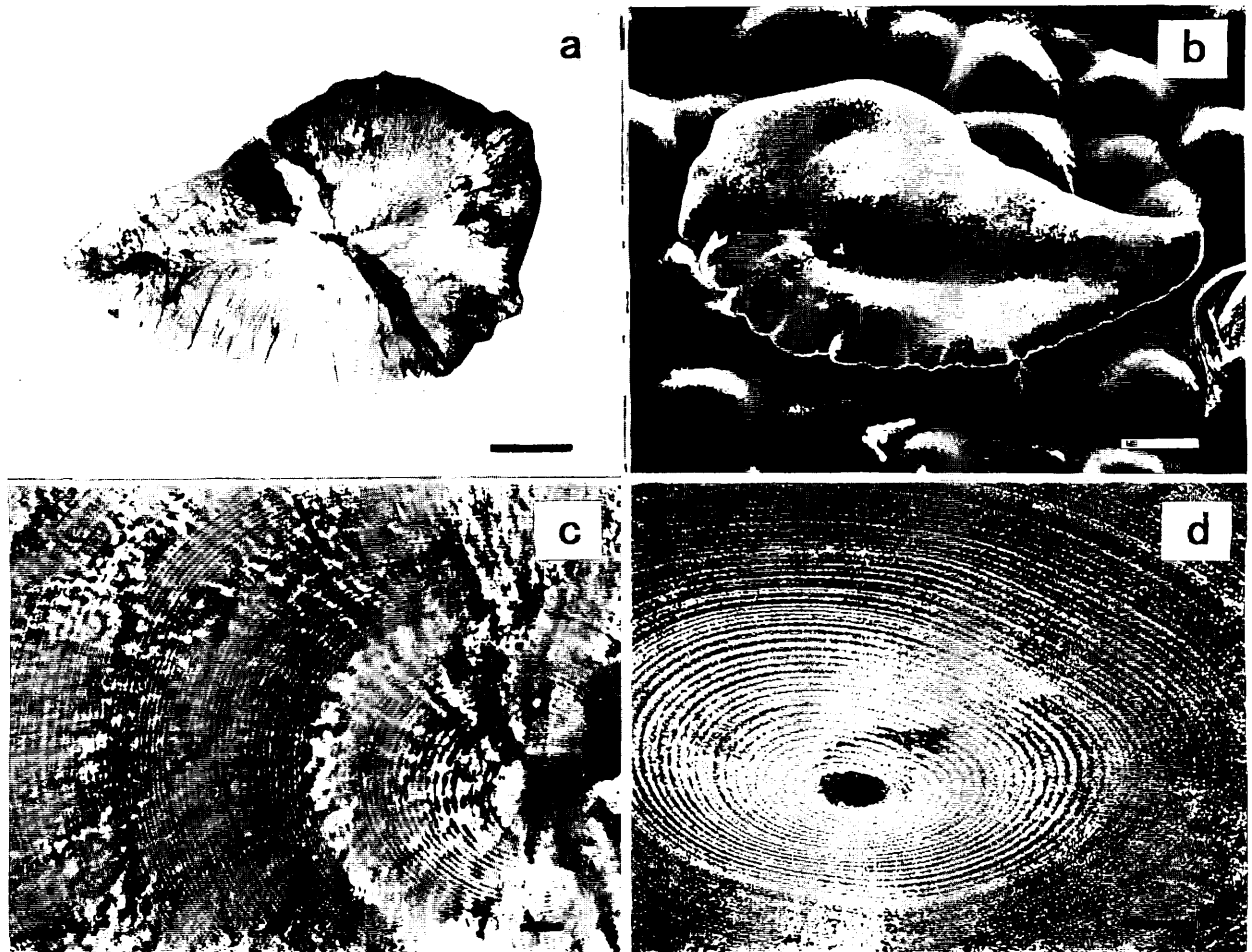


Fig.3 A type of sagittal otolith observed in amphidromous juvenile. (a)&(b) Distal view of sagitta which has smooth surface and rounded edges (scale bar = $200\mu\text{m}$); (c)&(d) incremental and discontinuous zone are exceedingly visible (scale bar = $20\mu\text{m}$). (a) and (c) were photographed in liquid paraffin with a light microscope. (b) and (d) viewed with a SEM.

図3 海産アユに見られたAタイプの扁平石光学顕微鏡(a,c)と走査型電子顕微鏡(b,d)により撮影。

Aタイプ：表面が滑らかで、外縁は比較的丸みを帯びていた(Fig.3a,b; Fig.5a)。また、光学顕微鏡下では茶褐色に観察され、輪紋は明瞭で、核を中心に同心円状に刻まれていた(Fig.3c,d)。このため、体長80mm程の稚魚でも、扁平石を研磨せずに、輪紋の計数による日齢査定が可能であった。

Bタイプ：表面には核付近を中心とした波状の起伏が認められ、外縁は細かい突起に富んでいた(Fig.4a,b)。ただし、稚魚においては外縁の突起は少なかった(Fig.5b)。光学顕微鏡下ではAタイプよりも透明に観察され(Fig.4a)、輪紋は核周辺部を除いては結晶構造が強いために不明瞭であった。走査型電子顕微鏡下では、輪紋は観察されるものの、うねりや収束が顕著に見られ(Fig.4d)、また、中心核以外にもいくつかの小核を形成する扁平石も認められた(Fig.4c)。これらのことから、輪紋

による日齢査定は不可能であった。

ABタイプ：Aタイプ扁平石の腹縁、前縁から後縁、または周縁にわたって、Bタイプの特徴である小突起や波状の透明層を形成していた(Fig.5c~f)。このことから、Aタイプの領域において輪紋は規則的に認められるが、外縁の透明層では輪紋の乱れにより、日齢査定は不可能であった。また、人工採苗アユの成魚で見られたABタイプの扁平石は、外縁の透明層が広がったことから、巨視的にはBタイプとみなせるものであった。

海産アユと人工採苗アユにおける扁平石タイプの出現率をTable 2に示した。海産アユは全ての個体がAタイプの扁平石を有していた。一方、当該試験場の人工採苗アユの成魚ではBタイプのみが、群馬県水産試験場産ではABタイプとBタイプがそれぞれ認められ、どちらもAタイプは見られなかった。人工採苗アユの稚魚ではいずれ

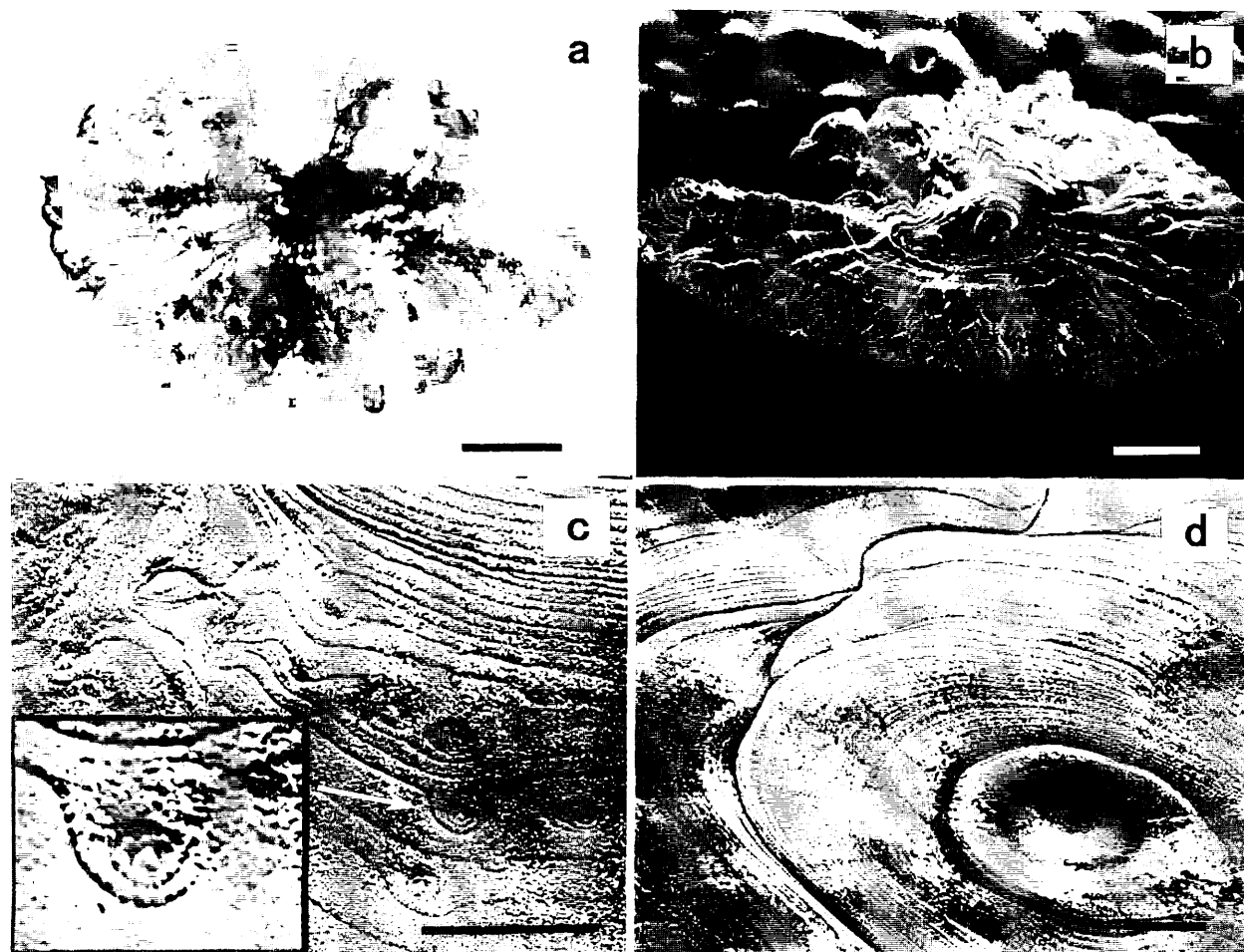


Fig.4 B type of sagittal otolith observed in hatchery-reared adult fish. (a)&(b) Distal view of sagitta which has undulate rough surface and jagged edges (scale bar = $500\mu\text{m}$); (c) small cores which have individual rings (scale bar = $10\mu\text{m}$), and magnification of the core (arrow) in square frame; (d) a crossed section of the central region with convergent (arrow heads) and winding increments (scale bar = $10\mu\text{m}$). Photographs viewed with a SEM except for (a) with a light microscope.

図4 人工採苗アユに見られたBタイプの扁平石光学顕微鏡(a)と走査型電子顕微鏡(c~d)により撮影。

のタイプの扁平石も観察されたが、継代アユ(F23)ではAタイプとBタイプが多く見られたのに対して、海産系アユ(F1)ではBタイプが90%以上の個体で認められた。

人工採苗アユ稚魚の成長ともなう耳石の観察

人工採苗アユの稚魚(継代アユと海産系アユ)で観察された扁平石タイプの推移をFig.6に示した。ただし、左右どちらかの扁平石がBタイプやABタイプであった場合は、Bタイプの扁平石を有する個体と判定した(後述)。海産系アユ(F1)では、ふ化後60、90、100、130日目にAタイプ扁平石のみを有する個体がそれぞれ10%見られた。これに対して、継代アユ(F23)では、観察全期間において20~80%の個体がAタイプのみを有していた。しかしながら、その出現割合の変動には一定の傾向は認められ

なかった。

人工採苗アユ稚魚における耳石の欠損

人工採苗アユ稚魚で観察した耳石の有無をTable 3に示した。扁平石と星状石は、継代アユの左内耳においてそれぞれ約1%の欠損が観察されたが、その他は全ての個体が有していた。しかしながら、礫石は継代アユと海産系アユのどちらの稚魚においても、左右の内耳で著しい欠損が認められた。左右の礫石をともに欠く個体に加え、いずれかを欠く個体が見られたことから、左右にそれぞれ3種類の耳石を有する正常個体の割合は、継代アユで54.5%、海産系アユで14.0%であった。

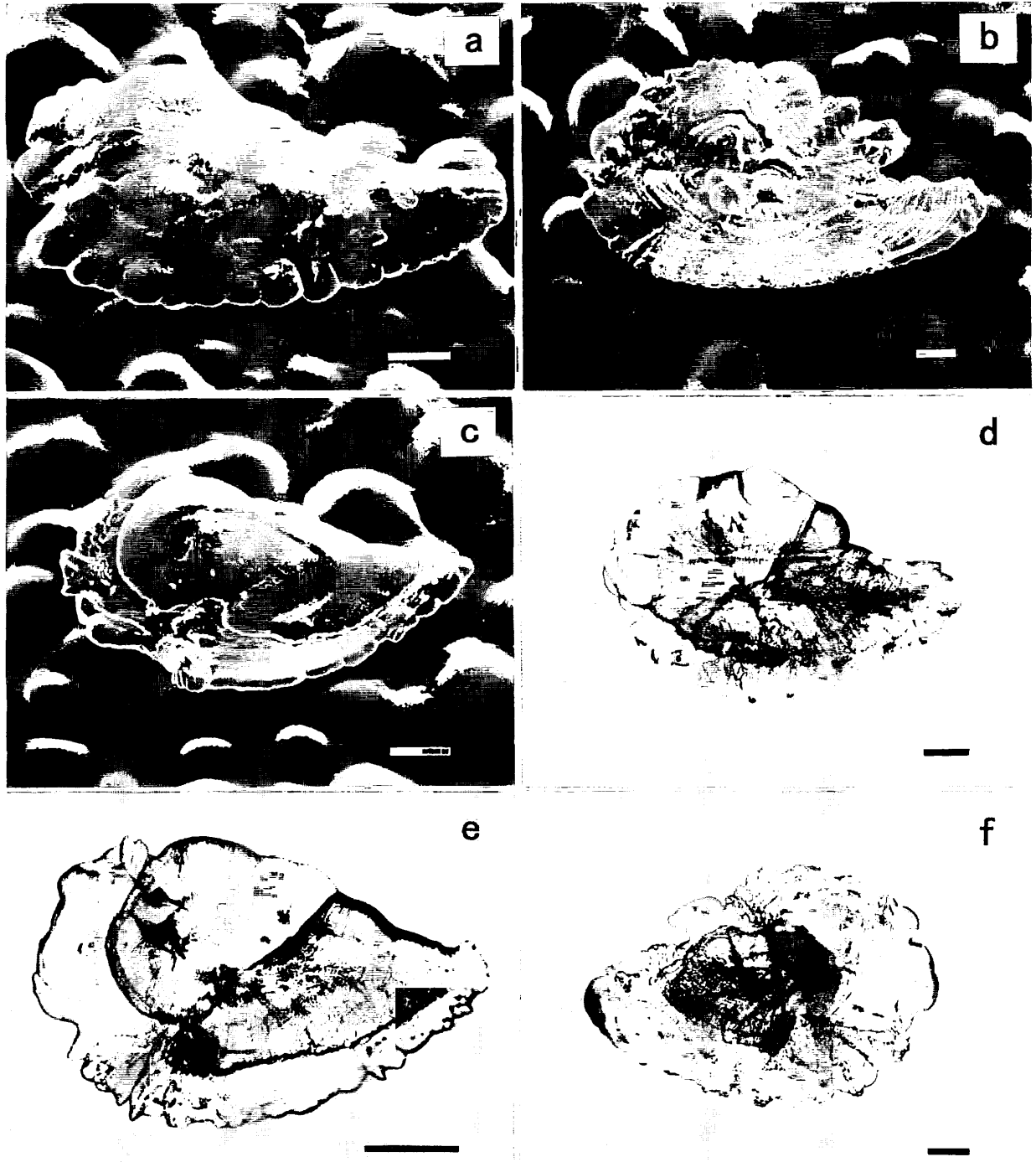


Fig.5 Photomicrographs of sagitta detected in artificially propagated juveniles by SEM (a,b and c) and light microscope (d,e and f). Scale bars are $200\mu\text{m}$. (a) type A; (b) type B with weak jagged edges; (c) type AB showing the different appearance of surface; (d)-(f) type AB showing the secondary growth of type B structure in the periphery of type A. All photographs are distal view.

図5 人工採苗アユの稚魚に見られた扁平石走査型電子顕微鏡(a~c)と光学顕微鏡(d~f)により撮影。

Table 2 Appearance ratio of sagitta types detected in amphidromous and hatchery-reared ayu.
表 2 海産アユと人工採苗アユで観察された扁平石のタイプ別出現率

Sample	growth stage	appearance ratio of sagitta (%) (left / right)		
		type A	type AB	type B
amphidromous ayu				
•Sagami Bay	juvenile	100 / 100	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0
•River Sagami	juvenile	100 / 100	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0
hatchery-reared ayu				
•Kanagawa Pref. (F ₂₂)	adult	0.0 / 0.0	0.0 / 0.0	100 / 100
•Gunma Pref. (F ₂₉)	adult	0.0 / 0.0	41.0 / 41.0	59.0 / 59.0
•Kanagawa Pref. (F ₂₃)	juvenile	43.3 / 48.3	9.2 / 6.7	47.5 / 45.0
• do. (F ₁)	juvenile	7.3 / 6.3	0.1 / 0.1	92.6 / 93.6

Table 3 Appearance ratio of right and left otolith observed in hatchery-reared ayu.
表 3 海産系人工アユ(F₁)と人工継代アユ(F₂₃)における左右の耳石の出現率

fish	days after hatching	sagitta		lapillus		asteriscus		normal individual*1
		left	right	left	right	left	right	
juvenile (F ₁) n=110	60 - 160	100.0	100.0	44.5	40.0	100.0	100.0	14.0
juvenile (F ₂₃) n=120	70 - 180	99.2	100.0	69.1	75.5	99.1	100.0	54.5

*1 appearance ratio of the fish possess three paires of otoliths in internal ears.
n = number of samples examined.

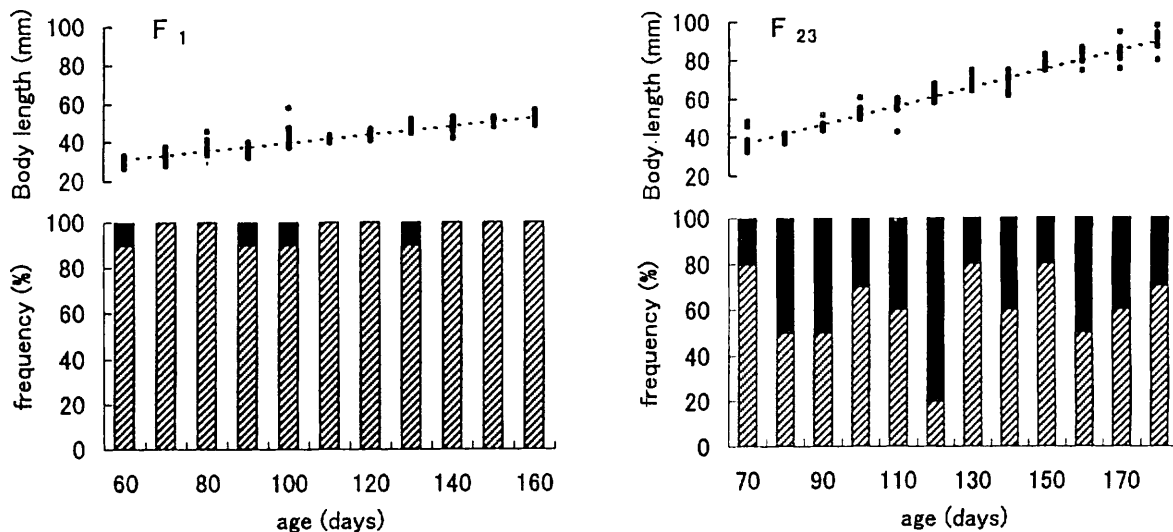


Fig.6 Frequency distribution of ayu with type A (solid bars) and type B (oblique bars) in hatchery-reared ayu F1 (left) and F23 (right). The fish possess type-B or type A in either side of internal ears was regarded as type B.

図 6 人工採苗アユの稚魚におけるAタイプ扁平石 (黒)、Bタイプ扁平石 (縞) を有する個体の出現率推移。左図は海産系アユ(F₁)、右図は継代アユ(F₂₃)。

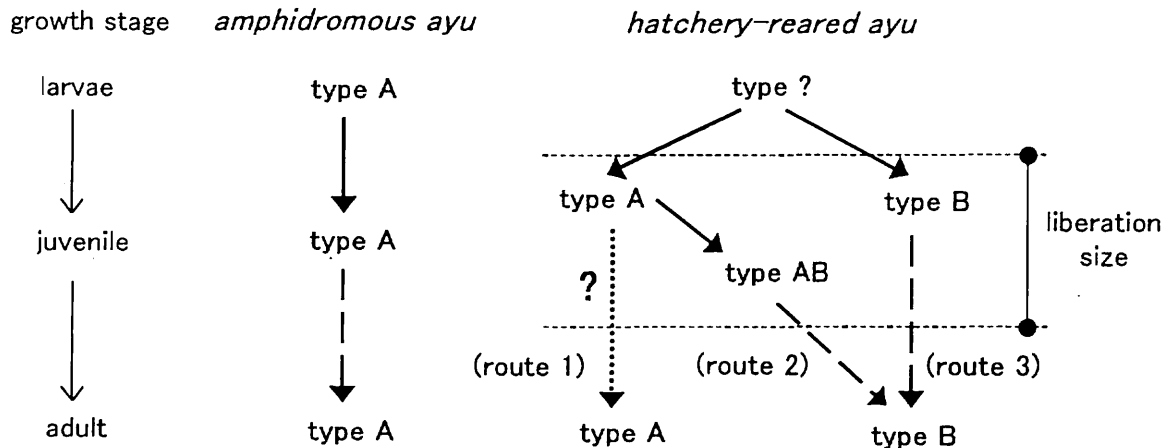


Fig.7 Morphological changes of sagitta estimated in amphidromous and hatchery-reared ayu.
 図7 本研究から推定される海産アユと人工採苗アユの成長にともなう扁平石形態の変化。

考 察

Bタイプ扁平石の異質性

本研究で観察された扁平石は、表面が滑らかで、輪紋が規則的に刻まれるAタイプ、表面に波状の起伏が現れ、輪紋が不明瞭なBタイプ、その両者の特徴を有するABタイプの3タイプに分類された。これまでのところ、数十種の魚類から耳石輪紋が報告されているが (Campana and Neilson, 1985²⁹⁾)、塚本ら(1989)³⁰⁾はアユほど明瞭な輪紋を刻む魚種は知られていないとしている。つまり、Aタイプは天然水域で成長したアユに見られ、従来の耳石観察や日齢査定にもちいられている扁平石であるのに対し、BタイプとABタイプは特異的な形態を有する扁平石といえる。Laroche *et al.* (1982)³¹⁾は、飼育管理した *Parophrys vetulus* の稚魚では天然水域の魚に比べて、扁平石の輪紋がきわめて不明瞭であり、ときに消失することを報告している。また、Rosa and Re (1985)³²⁾は *Tilapia mariae* において、水温と光が一定の飼育条件下では、給餌回数が多いと輪紋が不明瞭になるとしている。このように一般的には、耳石の形成様式はその個体が経験する生育環境に影響されることが知られ、光周期 (Mugiya, 1987³³⁾ : Geffen, 1983³⁴⁾ : Campana, 1982³⁵⁾)、水温 (Neilson and Geen, 1985³⁶⁾ : Campana, 1982³⁵⁾ : Campana and Neilson, 1985²⁹⁾)、餌 (Rosa and Re, 1985³²⁾ : Neilson and Geen, 1985³⁶⁾ : Campana 1983³⁷⁾) などが環境要因として考えられている。本研究で観察されたBタイプの扁平石も、海産アユには認められなかったことに加え、人工継代アユだけでなく、海産から採苗された第一代目のアユ(F1)にも認められたことから、遺伝的要因から形成されたのではなく、人為的環境下で飼育されたことに起因するものと考えられる。さらに、同じ年に生産された継代アユ(F23)と海産系アユ(F1)の人工採苗稚魚において、Bタイプ扁平石の出現率がそれぞれ約46%と93% (左右平均) と大きく異なっていたのは、同じ施設にある水槽でも、扁平石の形成に影響を与える飼育環境差が存在していたことを示唆しており、今後、環境要因を精査する必要がある。

Bタイプの扁平石には、中心核以外にも、小さな核を形成する例が観察された。ベニザケ *Oncorhynchus nerka* (Wilson and Larkin, 1982³⁸⁾)、アトランティックサーモン *Salmo salar* L. (Geffen, 1983³⁴⁾)、ニジマス *S. gairdneri* (Mugiya, 1987³³⁾) では primodium と呼ばれる複数の核が扁平石の中心核を形成する。同様に、ナイルテラピア *Oreochromis niloticus* も小球が集まって核域を形成する (Tanaka *et al.*, 1981³⁹⁾)。しかしながら、これらは正常な中心核の形成様式であり、いずれも輪紋の計数が可能であることから、本研究で認められた小核は異質なものと解される。一方、Zhang and Runham (1992)⁴⁰⁾ は飼育されたナイルテラピアの耳石において、中心核とは別の領域に、成長輪をともなう new growth centre が形成されることを観察しており、これが本研究と同様な核と思われるが、その形成機構についてはほとんど不明であるとしている。

人工採苗アユと海産アユの耳石形態変化

本研究で観察されたABタイプの扁平石は、どれもAタイプの外縁にBタイプ特有の透明層が形成されていた。耳石は核を中心に同心円状に成長し、その外縁部は成長前線であることから (麦谷, 1996³³⁾)、ABタイプは成長の過程においてAタイプからBタイプへと形態も変化した扁平石と考えられる。そこで、本研究で得られた観察結果により、天然水域で成長する海産アユと水槽内で飼育される人工採苗アユについて、扁平石の形態変化を推定し、Fig.7に示した。

まず、海産アユは海域と遡上期にAタイプを、その後も、河川水域に生息する限り生涯にわたってAタイプを有するものと思われる。一方、人工採苗アユはふ化後AタイプとBタイプが現れ、その後の成長過程において3つの経路が考えられる。つまり、

経路 1 : 稚魚期のAタイプはその後の成長過程においてもAタイプとして大きくなる (Fig.7; routel)。

経路 2 : AタイプからABタイプに形態変化する扁平石が現れる。その後も外縁部に透明層を発達させてゆく

ため、巨視的にBタイプとなる (Fig.7; route 2)。

経路 3 : 稚魚期のBタイプは、これまでのところ、BタイプからAタイプに形態変化した扁平石は認められていないことから、その後の成長過程においてもBタイプのままであると思われる (Fig.7; route 3)。

本研究では、種苗群が異なるものの、人工採苗アユの成魚にはAタイプが全く認められなかったことから、人工採苗アユ稚魚期のAタイプは、その多くが経路1よりも経路2によりABタイプからBタイプへと変形するものと推察される。ただし、人工採苗アユの稚魚において、Bタイプの出現頻度に時系列的な変動傾向が認められなかったことから、今後のより詳細な観察により証左を与える必要があろう。

以上のように、海産アユはAタイプ、人工採苗アユは主にBタイプの扁平石を有するようになると考えられ、扁平石タイプが、河川調査において両種苗を個体識別するための形質になり得ることが示唆される。また、扁平石の外部形態は走査型電子顕微鏡だけでなく光学顕微鏡を用いても容易に判別できるため、既報の輪紋構造の観察 (梅澤・塚本,1990²⁰) や輪紋間隔の計測 (井口・今野, 1991²⁰) に比べて、より簡便な識別方法といえる。ただし、本研究では、同じ年に生産された種苗群間でもBタイプ扁平石の出現率が異なっていたうえ、人工採苗アユの種苗放流は、AタイプとBタイプが混在すると思われる稚魚期におこなわれることが多い。このことから、本識別方法を河川調査に応用するには、予め放流する種苗群についてBタイプとABタイプ扁平石の出現率を調べ、これを標識率として把握しておくことが必要である。これにより、河川における人工アユ種苗の混獲率を推定できるものと思われる。一方、湖産アユは輪紋計数による日齢査定がおこなわれ (梅澤・塚本, 1990²⁰)、Aタイプ扁平石を有するものと解されることから、当該河川に海産・湖産・人工の3種類のアユ種苗が放流されている場合には、BとABタイプ扁平石により人工採苗アユのみを識別することとなろう。

人工採苗アユの稚魚に見られた耳石の欠損

真骨魚類は3対の耳石を有している (Campana and Neilson,1985²⁰)。また、アユのふ化仔魚は礫石と扁平石を1対ずつ有しており、星状石はふ化後20日目以降に形成される (Tsukamoto and Kajihara,1987²⁰)。しかしながら、本研究では、ふ化後60日目以降の人工採苗アユにおいて著しい礫石の欠損が観察された。一般的に、魚類では扁平石が小型であったり、もろかったりする場合を除いて、通常は扁平石で日齢査定等の解析がおこなわれるために (Campana and Neilson,1985²⁰)、礫石に関する知見は少ない。また、耳石の欠損に関する報告もほとんど見あたらないようである。一方、頭足綱の十腕類は、左右の平衡胞内にカルシウムの結晶体である1対の平衡石 (statolith) と2対の statoconia を、八腕形類は1対の平衡石を有することが知られており (Williamson,1995⁴⁰)、日齢査定には平衡石がもちいられている (e.g.

Arkipkin, 1991⁴⁰)。Hanlon et al. (1989)⁴⁰ は八腕形目、コウイカ目、ツツイカ目の5種について、胚発生期の飼育水からストロンチウムを除去すると、ふ化した稚タコと稚イカには著しい平衡石の変形や欠損、および statoconia の欠損が認められ、それらの個体は螺旋状遊泳や宙返りなどの異常行動を示すと報告している。最近、アユの種苗生産現場においても、稚魚が水槽底面で巡回遊泳しながら、大量へい死に至る現象が問題になっており、原因は全く不明とされている (per. com.)。耳石を含めた内耳は聴覚および平衡感覚器官として機能していることから (Campana and Neilson,1985²⁰; 麦谷,1996⁴⁰)、今後、耳石の欠損と遊泳行動の関連性や、その環境要因などを検討する必要があろう。

謝 辞

群馬県水産試験場には貴重な標本を提供していただきました。ここに記して、深謝申し上げます。また、標本の採集に協力していただいた戸井田伸一主任研究員、原日出夫技師、実験魚の飼育管理をしていただいた江成節子氏、奥村守氏に心から御礼申し上げます。

引用文献

- 1) Nishida, M. and Y. Takahashi (1978) : Enzyme variation in populations of Ayu, *Plecoglossus altivelis*. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 44(10), 1059-1064.
- 2) 谷口順彦・関伸吾・稲田善和 (1983) : 両側回遊型、陸封型および人工採苗アユ集団の遺伝的変異保有量と集団間の分化について、Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 49(11), 1655-1663.
- 3) Nishida, M. (1985): Substantial genetic differentiation in Ayu *Plecoglossus altivelis* of the Japan and Ryuku Islands. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 51(8), 1269-1274.
- 4) Nishida, M. (1986) : Geographic variation in molecular, morphological and reproductive characters of the Ayu *Plecoglossus altivelis* (Plecoglossidae) in the Japan-Ryukyu archipelago. Japanese Journal of Ichthyology, 33(3), 232-248.
- 5) 関伸吾・谷口順彦・田祥麟 (1988) : 日本および韓国の天然アユ集団の遺伝的分化. Nippon Suisan Gakkaishi, 54(4), 559-568.
- 6) Takagi, M., E. Shoji. and N. Taniguchi (1999) : Microsatellite DNA polymorphism to reveal genetic divergence in Ayu, *Plecoglossus altivelis*, Fisheries Science 65(4), 507-512.
- 7) Seki, S., J. J. Agresti, G. A. E. Gall, N. Taniguchi and B. May (1999) : AFLP analysis of genetic diversity in three populations of Ayu

- Plecoglossus altivelis*. Fisheries Science, 65(6), 888-892.
- 8) 関伸吾・谷口順彦・村上幸二・米田実(1984): 湖産アユと海産アユの成長・成熟及び行動の比較. 淡水魚, 10号, 101-104.
 - 9) 関伸吾・谷口順彦(1988a): アイソザイム遺伝標識による放流湖産アユの追跡. Nippon Suisan Gakkaishi, 54(5), 745-749.
 - 10) 関伸吾・谷口順彦(1988b): 天然湖および人工湖の移植陸封アユおよび人工採苗アユの由来について. 水産育種, 13, 39-44.
 - 11) Seki, S., N. Taniguchi, N. Murakami, A. Takamichi and I. Takahashi (1994): Seasonal changes in the mixing rate of restocked Ayu-juveniles and assessment of native stock using an allozyme marker. Fisheries Science, 60(1), 31-35.
 - 12) Pastene, L. A., K. Numachi and K. Tsukamoto (1991): Examination of reproductive success of transplanted stocks in an amphidromous fish *Plecoglossus altivelis* (Temmink et Schlegel) using mitochondrial DNA and isozyme markers. Journal of Fish Biology, 39 (Supplement A), 93-100.
 - 13) Tsukamoto, K. (1985): Mass-Marking of Ayu Eggs and Larvae by Tetracycline-Tagging of Otoliths, Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 51(6), 903-911.
 - 14) Tsukamoto, K. (1988): Otolith Tagging of Ayu Embryo with Fluorescent Substances, Nippon Suisan Gakkaishi, 54(8), 1289-1295.
 - 15) Tsukamoto, K. and T. Kajihara (1987): Age Determination of Ayu with Otolith, Nippon Suisan Gakkaishi, 53(11), 1985-1997.
 - 16) 古川英一(1998): アユ資源増殖技術開発試験. 平成8年度大分県海洋水産研究センター内水面研究所事業報告, 22-24.
 - 17) 松井魁(1950): 環境・性別及び鱗相に依る鮎の形態的特徴の差異並びに天然鮎と養殖鮎の識別に就いて. Jap. Jour. Ich., 1-1 VIII, 17-22.
 - 18) 駒田格知(1977): 海産・湖産・人工孵化アユにおける椎体の成長, Jap. Jour. Ich., 24(2), 128-134.
 - 19) 大島正満(1956): 球磨川荒瀬堰堤が鮎の遡上に及ぼしたる影響. 魚類学雑誌, 5(2), 1-11.
 - 20) 関伸吾・村上直澄・高道昭・谷口順彦(1998): 土佐湾産両側回遊型アユと琵琶湖産陸封型アユの鱗相による判別, Nippon Suisan Gakkaishi, 64(4), 720-721.
 - 21) Anonymous (1993): 異なる条件で中間育成したアユ人工種苗の放流適正と側線上部横列鱗の形成. 平成3年度大分県内水面漁業試験場事業報告, 43-54.
 - 22) 熊本県水産研究センター内水面研究所(2000): 人工産アユに見られる下顎側線孔の乱れ(欠損)について. 平成11年度アユ増殖研究部会報告書資料
 - 23) Yamashita, E., Y. Maruyama, M. Katsuyama, M. Tsushima, S. Arai and T. Matsuno (1998): The presence and origin of apocarotenoid, galloxanthin in ayu *Plecoglossus altivelis*. Fisheries Science, 64(5), 826-830.
 - 24) Yamashita, E., S. Iida, N. Taniguchi and T. Matsuno (1999): Absence of galloxanthin, an apocarotenoid, in the amphidromous form of the ayu *Plecoglossus altivelis*. Fisheries Science, 65(5), 804-805.
 - 25) 梅澤彰馬・塚本勝巳(1990): 耳石微細構造による湖産・海産アユの判別法, Nippon Suisan Gakkaishi, 56(12), 1919-1926.
 - 26) 井口雅陽・今野哲(1991): アユの再生産機構と資源評価に関する研究(要約) - II. 平成元年度山形県内水面水産試験場事業報告書, 10-11.
 - 27) Otake, T. and K. Uchida (1998): Application of otolith Microchemistry for distinguishing between amphidromous and non-amphidromous stocked ayu, *Plecoglossus altivelis*. Fisheries Science, 64(4), 517-521.
 - 28) 塚本勝巳(1993): 日齢査定法. 河川生態環境工学. 玉井信行・水野信彦・中村俊六編. 東京大学出版会, pp 309.
 - 29) Campana, S. E. and J. D. Neilson (1985): Microstructure of fish otoliths. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42, 1014-1032.
 - 30) 塚本勝巳・望月賢二・大竹二雄・山崎幸夫(1989): 川口水域におけるアユ仔稚魚の分布・回遊・成長. 水産土木, Vol.25, No.2, 47-57.
 - 31) Laroche, J. L., S. L. Richardson and A. A. Rosenberg (1982): Age and growth of a Pleuronectid, *Parophrys vetulus*, during the pelagic larval period in Oregon coastal waters. Fishery Bulletin, 80(1), 93-104.
 - 32) Rosa, H. C. and P. Re (1985): Influence of exogenous factors on the formation of daily microgrowth increments in otolith of *Tilapia mariae* (Boulenger, 1899) juveniles. Cybium 9, 941-257.
 - 33) Mugiya, Y. (1987): Effects of photoperiods on the formation of otolith increments in the embryonic and larval rainbow trout, *Salmo gairdneri*. Nippon Suisan Gakkaishi, 53(11), 1979-1984
 - 34) Geffen, A. J. (1983): The deposition of otolith rings in Atlantic salmon, *salmo salar* L., embryos. J. Fish Biol. 23, 467-474.
 - 35) Campana, S. E. (1982): Interactive effects of age and environmental modifiers on the

- production of daily growth increments in otoliths of Plainfin Midshipman, *Porichthys notatus*. Fishery Bulletin, 82(1), 165-177.
- 36) Neilson, J. D. and G. H. Geen (1985): Effects of feeding regimes and diel temperature cycles on otolith increment formation in juvenile Chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*. Fishery Bulletin, 83(1), 91-101.
- 37) Campana, S. E. (1983): Feeding periodicity and the production of daily growth increments in the otoliths of steelhead trout (*Salmo gairdneri*) and starry flounder (*Platichthys stellatus*). Can. J. Zool., 61, 1591-1597.
- 38) Wilson, K. H. and P. A. Larkin (1982): Relationship between thickness of daily growth increments in sagittae and change in body weight of Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) fry. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39, 1335-1339.
- 39) Tanaka, K., Y. Mugiya and J. Yamada (1981): Effects of photoperiod and feeding on daily growth patterns in otoliths of juvenile *Tilapia nilotica*. Fish. Bull. U.S., 79, 459-466.
- 40) Zhang, Z. and N. W. Runham (1992): Otolith microstructure pattern in *Oreochromis niloticus* (L.). Journal of Fish Biology, 40, 325-332.
- 41) Williamson, R. (1995): The statosysts of cephalopods. pp.503-520. In: Abbott, N. J., R. Williamson and L. Maddock (Eds.) Cephalopod neurobiology, neuroscience studies in squid, octopus, and cuttlefish. Oxford University Press.
- 42) Arkhipkin, A.A. (1991): Methods for Cephalopod age and growth studies with emphasis on statolith ageing techniques. pp. 11-17. In: Jereb P., S. Ragonese and S. V. Boletzky (Eds.) Squid Age Determination Using Statolith. Proceedings of the International Workshop held in the Istituto di Tecnologia della Pesca e del Pescato (ITPP-CNR), Mazara del Vallo, Italy, 9-14 October 1989. N. T. R. -I. T. P. P. Special Publications, no 1: 128pp.
- 43) Hanlon, R. T., J. P. Bidwell and R. Tait (1989): Strontium is required for statolith development and thus normal swimming behavior of hatchling cephalopods. J. exp. Biol., 141, 187-195.
- 44) 麦谷泰雄(1996): 硬骨魚類の耳石形成と履歴情報解析. 海洋生物の石灰化と硬組織. 和田浩爾・小林巖雄編著. 東海大学出版会, 285-298.