

耳石 Sr/Ca 比による高知県伊尾木川 および物部川産アユの由来判別

清家 暁,¹ 岡部正也,² 佐伯 昭,²
海野 徹也,^{1*} 大竹二雄,³ 中川平介¹

(2001年9月28日受付, 2002年6月3日受理)

¹広島大学生物生産学部, ²高知県内水面漁業センター, ³三重大学生物資源学部

Stock separation study using otolith Sr/Ca ratio on ayu *Plecoglossus altivelis*
captured from the Ioki River and the Monobe River

SATORU SEIKE,¹ MASAYA OKABE,² AKIRA SAEKI,² TETSUYA UMINO,^{1*}
TSUGUO OTAKE³ AND HEISUKE NAKAGAWA¹

¹Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University, Higashi-hiroshima, Hiroshima 739-8528, ²Kochi Prefectural Freshwater Fishies Experimental Station, Tosayamada, Kochi 782-0016, ³Faculty of Bioresources, Mie University, Tsu, Mie 514-8507, Japan

A stock separation study on ayu *Plecoglossus altivelis* captured from the Ioki and the Monobe rivers was conducted using the otolith Sr/Ca concentration ratio method. Discrimination among amphidromus, hatchery-cultured and landlocked populations was possible by comparing with chart patterns during early life stage, because the rearing salinity of hatchery-cultured fish is intermediate between those of amphidromus and landlocked populations. When stock separation was carried out by both otolith Sr/Ca ratio and mark-releasing with 85 individuals, disagreement between them occurred for only 9 individuals. It is indicated that stock separation by the method of otolith Sr/Ca ratio is as effective as the conventional mark-releasing method.

キーワード：アユ, 由来判別, 耳石, ストロニウム/カルシウム比, 標識放流, 高知県

アユ *Plecoglossus altivelis* は、わが国を代表する有用な両側回遊魚である。孵化仔魚は川の流れとともに海に降り沿岸海域で仔稚魚期を過ごした後、春になり海と川の水温差がなくなる頃、再び河川に遡上する。一方、琵琶湖には一生を淡水で過ごす陸封型のアユ、いわゆる琵琶湖産アユが存在する。琵琶湖産アユと両側回遊型アユは遺伝的に分化した地理的集団¹⁾であるが、琵琶湖産アユは主に遊漁目的で全国各地に放流されている。

海産系の人工種苗や天然種苗の移植放流も各地で行われているが、これらの放流事業の目的は主に天然遡上アユの資源回復である。そのため、各河川における天然遡上アユの資源量の把握は資源回復を目的とした河川放流事業に貴重な情報をもたらすことになる。従来、天然遡上アユの資源量を推定する手段として、遡上期や遡下期における仔稚魚の捕獲調査が行われてきた。ただし、こ

の方法は調査方法や調査時期に法的な制約が多いうえ、多大な労力を要する。その他の方法としては琵琶湖産アユや海産系を含む人工放流種苗と天然遡上アユの混獲率調査が考えられるが、この方法は琵琶湖産アユや人工放流種苗の識別が前提であることから、アユの由来を正確に判別する技術開発が望まれる。このような背景を反映し、耳石の微細構造²⁾や鱗相³⁾といった年齢形質に加え、体表のカロテノイド組成⁴⁾によって琵琶湖産アユと両側回遊型アユを個体レベルで判別する方法が検討されている。また、アイソザイムやミトコンドリア DNA などの遺伝マーカー⁵⁻⁸⁾を用いて海産系と琵琶湖産アユの混獲率が推定されている。

近年、耳石中のカルシウムに対するストロニウム濃度比（以下 Sr/Ca 比）から、通し回遊魚の回遊履歴を推定する技術が急速に発展しつつある。⁹⁻¹²⁾ 耳石中のカ

* Tel : 81-824-24-7944. Fax : 81-824-22-7059. Email : umino@hiroshima-u.ac.jp

ルシウム含量は生息塩分濃度に関係なくほぼ一定である。一方、ストロンチウム含量は海に生息した場合で高く、淡水中では激減するためである。アユ¹³⁾においても琵琶湖産アユおよび人工海水で飼育したアユの耳石 Sr/Ca 比が殆ど変化しないのに対し、天然遡上アユでは沿岸域から河川への回遊履歴を反映し Sr/Ca 比が変化する。このことから耳石 Sr/Ca 比から天然遡上アユと放流種苗が個体レベルで判別できる可能性が示唆されている。¹³⁾

高知県の太平洋側に河口を有する伊尾木川、物部川は天然遡上アユも豊富で、これまで遺伝マーカーによるアユの混獲率が推定されてきた。^{5,7)} また、両河川では琵琶湖産アユもしくは人工海産アユの標識放流も実施されている。そこで本研究では耳石 Sr/Ca 比により、実際に高知県伊尾木川および物部川で採集したアユを個体レベルで天然遡上アユと琵琶湖産アユおよび人工海産アユに判別することを目的とした。さらに、その有効性を標識放流を併用し検討した。

試料および方法

伊尾木川 (1998 年および 1999 年) 伊尾木川は、高

知県東部に位置し、太平洋に流入する河川である (Fig. 1)。1998 年および 1999 年の伊尾木川における放流種苗は人工海産種苗 (以下人工海産) および高知県産天然海産種苗 (以下高知県産) で、同河川では兩年とも琵琶湖産アユ (以下湖産) の放流は実施されていない (Table 1)。

1998 年の伊尾木ダム (河口より 13 km) 下流における放流尾数の内訳は、人工海産が 3 月 14 日に 42 千尾、3 月 18 日に 35 千尾の計 77 千尾、高知県産が 4 月 17 日に 75 千尾、4 月 22 日に 2 千尾の計 77 千尾である。人工海産のうち 3 月 18 日に放流された 35 千尾が脂鱗切除により標識されていた (Table 1)。また、1999 年の伊尾木への放流実績は、人工海産が 3 月 22 日に 43 千尾、3 月 25 日に 28 千尾、3 月 30 日に 16 千尾の計 87 千尾、高知県産が 4 月 4 日に 88 千尾、5 月 28 日に 79 千尾の計 167 千尾である (Table 1)。このうち 3 月 25 日に放流された人工海産 28 千尾は脂鱗切除により標識されていた。なお、1998 年および 1999 年に放流された人工海産アユは勸高知県内水面種苗センターで、10 月中旬頃孵化し、12 月の下旬頃まで塩分濃度 18~20 psu (水温 16~18.9°C, 平均 17.5°C) で飼育された

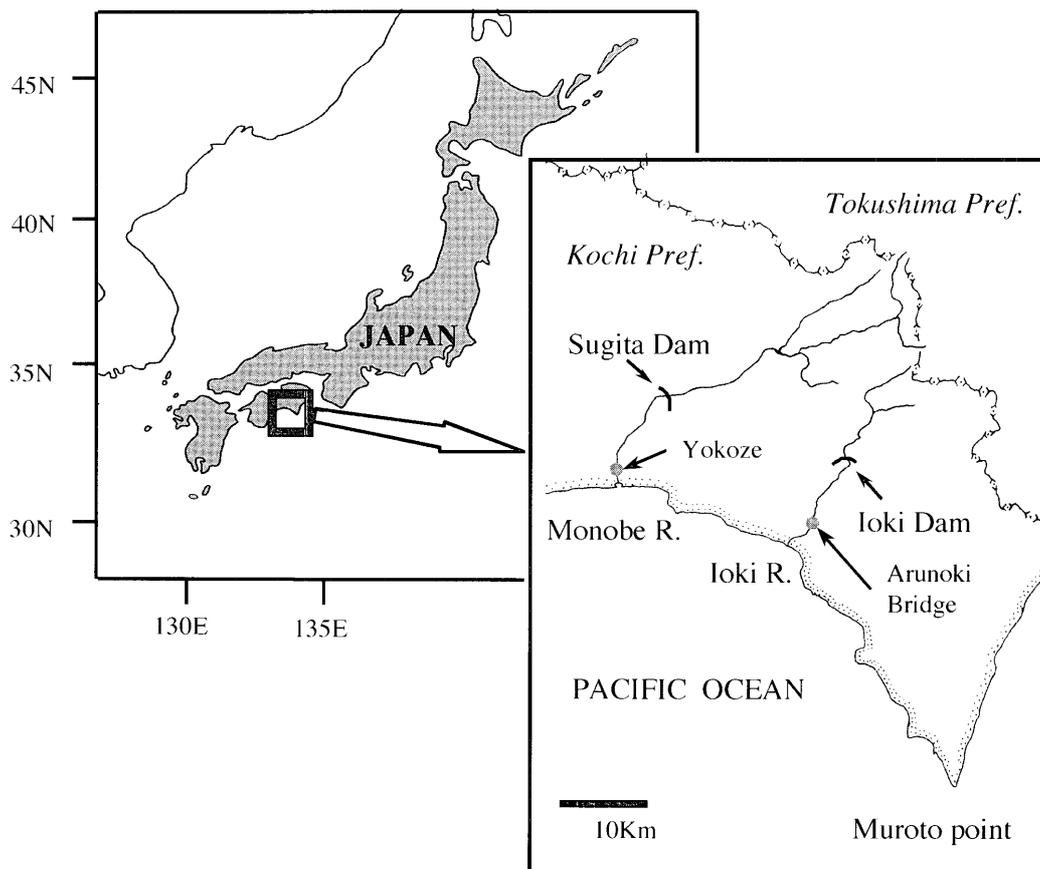


Fig. 1. Map showing sampling locations of the Ioki River and the Monobe River.

Table 1. Outline of stock enhancement of ayu at the Ioki River and the Monobe River

Releasing date		Origin	Type of fin-clipping	Releasing number
Ioki R.				
1998	March 14	Hatchery cultured	Non	42,000
	March 18	"	Adipose fin	35,000
	April 17	Amphidromous ¹⁾	Non	75,000
	April 22	"	"	2,000
1999	March 22	Hatchery cultured	Non	43,000
	March 25	"	Adipose fin	28,000
	March 30	"	Non	16,000
	April 4	Amphidromous ¹⁾	"	88,000
	May 28	"	"	79,000
Monobe R.				
1999	April 4	Hatchery cultured	Adipose fin	84,000
	April 12	Landlocked	Non	41,000
	April 13	Amphidromous ²⁾	"	83,000
	May 24	Landlocked	"	5,000
	June 11	Hatchery cultured	"	80,000
	July 18	"	"	1,000

¹⁾ Amphidromous fish were captured along the coastal areas of Kochi Prefecture.

²⁾ Amphidromous fish were transplanted from Kagoshima Prefecture.

Table 2. Presumed origin using mark-releasing and otolith Sr/Ca ratio of ayu captured from the Ioki River and the Monobe River

Releasing date	By mark-releasing ¹⁾			By otolith Sr/Ca ratio			Disagreement of presumed origins
	Fin types ²⁾	Presumed origin ³⁾		Chart pattern ⁴⁾	Presumed origin		
Ioki River on Aug. 25 1998	L or PL	HC	10	A	AD	9	
	N	AD or HC	6	B	HC	7	
Ioki River on May 20 1999	N	AD or HC	13	A	AD	13	0
Monobe River on May 18, 1999	L	HC	1	A	AD	13	
	N	AD or LL	21	B	HC	3	
				C	LL	6	
Monobe River on May 25, 1999	L	HC	1	A	AD	14	3
	N	AD or LL	29	B	HC	2	
				C	LL	14	
Monobe River on Aug. 2, 1998	N	AD or HC or LL	4	A	AD	4	0

¹⁾ Mark-releasing with adipose fin cutting.

²⁾ N: normal, PL: partly lacking, L: lacking.

³⁾ HC: hatchery-cultured, AD: amphidromous (including transplanted amphidromous), LL: landlocked.

⁴⁾ Refer to Fig. 2.

後, 1月中旬から下旬にかけて淡水順化されていた。また, 高知県産は高知県沿岸で海面採捕し, 高知県内水面漁業連合組合西部種苗供給センターで中間育成された天然海産種苗である。

耳石元素分析に供したアユは, 1998年8月25日に伊尾木川の芸陽漁業協同組合から入手した凍結試料16尾で, 脂鱗が欠損した個体と正常な個体が同数になるように作為的に冷凍庫より選定したものである。これらの試料は遊魚者により釣獲されたものであるが, 捕獲日時は不明である。また, 1999年の試料は5月20日に伊尾木川有ノ木橋上流で友釣りにより釣獲した13尾

である (Table 2)。

物部川 (1999年) 物部川は, 高知県南国市内を貫流し太平洋に流入する河川で, 物部川と伊尾木川の河口間の直線距離は23 kmである (Fig. 1)。1998年および1999年の物部川杉田ダム (河口より12 km) より下流における放流種苗は, 人工海産, 鹿児島県産の天然海産種苗 (以下鹿児島産) ならびに湖産である (Table 1)。

同河川の杉田ダムより下流への1999年の放流実績は, 人工海産が4月4日に84千尾, 6月11日に80千尾, 7月18日に1千尾の計166千尾, 鹿児島産が4月17日に83千尾, 湖産が4月12日に41千尾, 5月24

日に5千尾の計46千尾であった。放流された人工海産166千尾の内、4月4日に放流された85千尾に脂鱭切除による標識が実施されていた (Table 1)。なお、同河川に放流された人工海産の履歴は伊尾木川における放流種苗と同様で、湖産アユは琵琶湖産アユを高知県安芸郡東洋町野根の民間養殖施設 (河口より2 km 上流) で伏流水 (飼育水温 15.5~19°C) を用い、4ヶ月間養成したものである。また、鹿児島産は鹿児島県天降川の河口5~10 km で捕獲され、数日間の蓄養後、放流されたものである。耳石元素分析に供したアユは杉田ダムより下流の横瀬で釣獲されたアユで、1999年5月18日が22尾、5月25日が30尾、8月2日が4尾である (Table 2)。

脂鱭の形状と耳石 Sr/Ca 比 本研究は、アユの由来判別のため耳石 Sr/Ca 比および脂鱭の標識痕を用い、両者の間で盲検定を行った。供試魚の耳石摘出時に全長、体重を計測し、脂鱭の形状を観察した。脂鱭の形状は、正常、鱭の一部が欠損、もしくは鱭の全てが欠損の三段階で評価した。

耳石 (扁平石) はアルコール中で付着物を完全に除去し、耳石の凸面が上になるように樹脂に包埋後、耳石の核が露出するまで凸面から研磨機 (Struers S5629) と耐水研磨紙 (#220~#2000) を用いて耳石中心まで研磨し、最終的に1 μm のダイヤモンドペーストで研磨面を鏡面仕上げした。表面にカーボン蒸着を施した試料は波長分散型電子線マイクロアナライザー (JCMA-733 II, 日本電子, 以下 EPMA) 分析に供し、発育に伴う耳石上のカルシウムとストロンチウムの濃度変化を調べた。線分析は耳石中心から後部縁辺方向の直線上で行い、また、一部の個体について耳石研磨面全体の両元素の濃度分布をみるために面分析を行った。なお、線分析および面分析条件は前報¹²⁾に従い、カルシウムに対するストロンチウムの濃度比を 10^3 倍し表記したものを Sr/Ca 比とした。耳石日周輪数の計測は顕微鏡画像をデジタルカメラでパーソナルコンピュータに取り込み、線分析とはほぼ同一の直線上の日周輪数を計測し、Sr/Ca 比の変動と日周輪数を照合した。

結果および考察

伊尾木川産アユの脂鱭とチャートパターン 伊尾木川で捕獲されたアユの脂鱭の形状 (標識痕)、及びそれらより推定されるアユの由来を Table 2 に示す。1998年8月25日のアユ16個体では脂鱭の一部もしくは全体が欠損した個体が10個体認められた。1998年と1999年の伊尾木では湖産の放流はなく、高知県産と人工海産が放流されていた (Table 1)。そのうち人工海産の一部が標識放流されていたことから、鱭の欠損した個体は人工海産で、正常な鱭をもつ個体は天然アユ (高知県産、鹿児島県産と天然遡上を含む) もしくは無標識の人工海産

に判別されることになる (Table 2)。また、1999年の5月20日のアユでは、脂鱭が欠損した個体は認められなかった。したがって、鱭の形状から由来を判断すれば、これらの個体は天然もしくは無標識の人工海産となる (Table 2)。

伊尾木川産アユの典型的な Sr の面分析結果と Sr/Ca 比のチャートパターンを Fig. 2 の A および B に示す。1998年および1999年の同河川のアユのチャートは、耳石中心付近の Sr/Ca 比とその変動パターンにより二種類に大別された。例えば、Fig. 2A では、耳石中心から500 μm 前後まで Sr/Ca 比が平均で8~10前後を推移した後、比は緩やかに減少し、耳石縁辺部まで3~4前後を推移した (パターン A)。これに対して、Fig. 2B は、耳石中心から約300 μm 前後まで平均で6~7前後を推移した後、比の減少が認められた (パターン B)。耳石中心から250 μm までの Sr/Ca 比の平均値が8.0以上のものをパターン A、7.5以下のものをパターン B として、捕獲日毎のパターン類型を Table 2 に示した。

物部川産アユの脂鱭とチャートパターン 1999年5月と8月に物部川で捕獲されたアユの脂鱭の形状 (標識痕) と個体数を Table 2 に示す。56個体中、脂鱭の一部もしくは全体が欠損していたのは、5月に釣獲された2個体であった。1999年の物部川は、鹿児島産、人工海産および湖産の放流が実施されており、このうち標識放流は4月に放流された人工海産であった (Table 1)。また、6月までは人工海産の無標識放流は行われていないので、5月に標識痕をもつ2個体は鱭の形状からすれば人工海産と推定できる。その他、5月に正常な鱭を持つ個体は天然もしくは湖産アユと推定できよう (Table 2)。8月のアユは4個体全てが正常な鱭を有していた。6月と7月に人工海産の無標識放流が実施されていたことから (Table 1)、8月のアユで正常な鱭を持つ個体は、天然アユ、無標識の人工海産、湖産のいずれかに該当することになる (Table 2)。

1999年度に物部川で釣獲されたアユの耳石 Sr/Ca 比のチャートパターンは、伊尾木川産アユで認められたように、耳石中心から500 μm 前後まで Sr/Ca 比が平均で8~10を示す個体 (パターン A) と、中心から約300 μm 前後まで6~7前後を示す個体 (パターン B) に加えて、耳石中心付近から縁辺部にかけての Sr/Ca 比の大きな変動のない個体が認められた (Fig. 2C)。このような Sr/Ca 比のチャートパターンをパターン C とし、捕獲日毎のパターン類型を Table 2 に示した。

耳石 Sr/Ca 比による由来判別 高知県伊尾木川および物部川のアユの耳石 Sr/Ca 比のチャートは、耳石中心付近の Sr/Ca 比が8~10を示した後、約400 μm 前後で Sr/Ca 比が減少する A パターンと、耳石中心付近の Sr/Ca 比が6~7前後を示した後、約300 μm 前後で

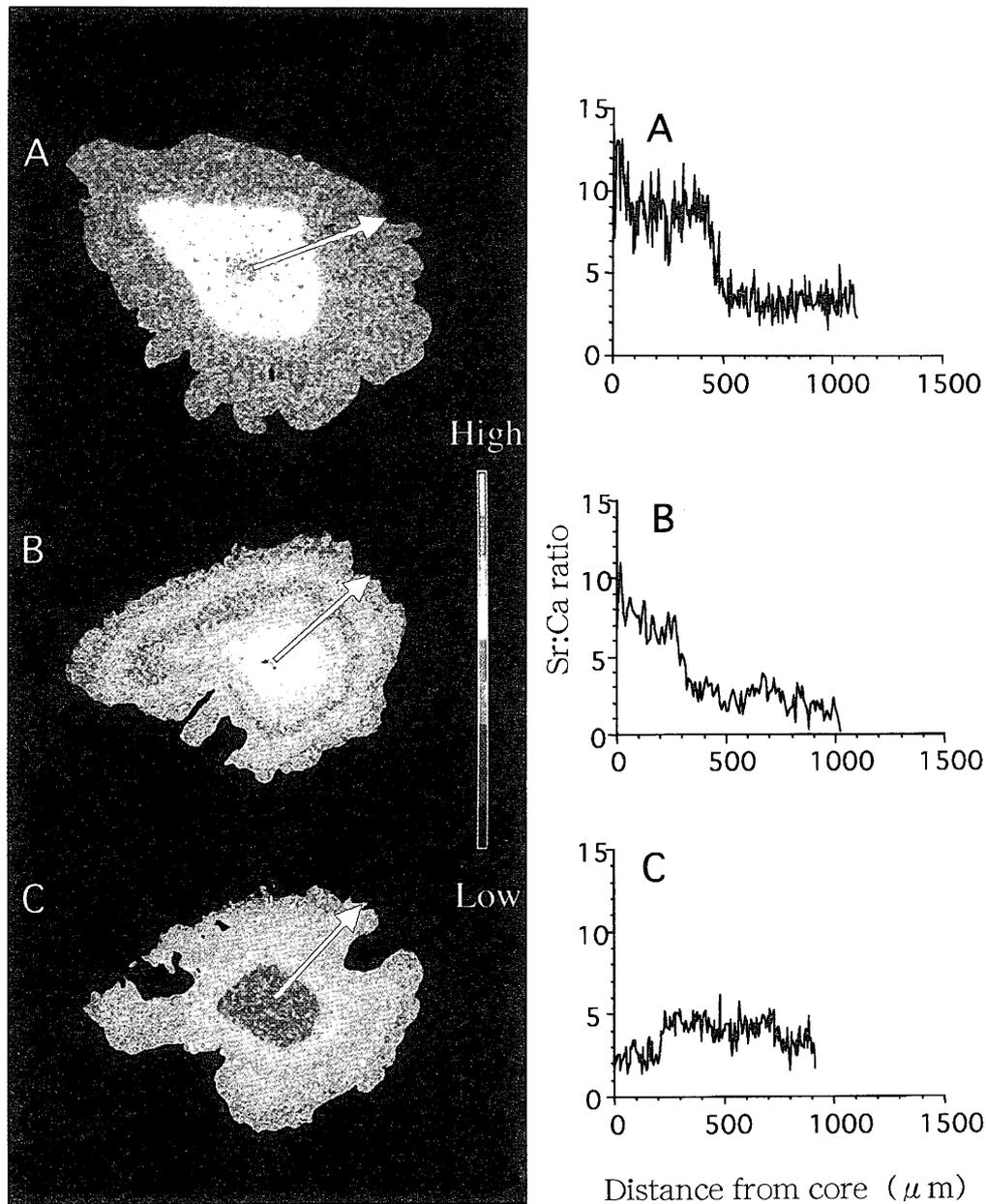


Fig. 2. X-ray intensity maps of Sr and line-analysis of Sr/Ca concentration ratio (multiplied by 10^3) from core to edge along transverse section of sagittal otolith of ayu *Plecoglossus altivelis* from the Ioki River and the Monobe River. Transect lines on each the intensity maps showing the position of the line-analysis. Three typical chart patterns A, B and C are derived from amphidromous (or transplanted amphidromous), hatchery-cultured, and landlocked, respectively.

Sr/Ca 比が減少する B パターン, 耳石中心付近から縁辺部にかけての Sr/Ca 比の大きな変動が認められない C パターンに大別された。Ohtake and Uchida¹³⁾によれば信濃川産天然遡上アユは, 中心から約 400 μm まで Sr/Ca 比が 8~10 前後を推移した後, 緩やかに減少するのに対し, 湖産アユは, 耳石中心から縁辺部までの Sr/Ca 比に大きな変動が認められず, 2~3 前後を推移するという。したがって高知県産アユの耳石 Sr/Ca 比のチャートパターンより由来判別をすれば, A パター

ンは天然遡上もしくは鹿児島産, C パターンは湖産と断定できる。

一方, アユ耳石中の Sr/Ca 比と環境水中の塩分濃度との関係についての報告例はないが, スズキ,^{9,10)} ウナギ,¹¹⁾ チチブ¹⁴⁾などの通し回遊魚において耳石中の Sr/Ca 比と環境水中の塩分濃度に正の相関関係が存在することが報告されている。したがって, 本研究は耳石中心付近の Sr/Ca 比が 6~7 前後を推移する B パターンの個体は, 発育初期に天然海水より低い塩分濃度で飼育され

ていた可能性が高い。事実、伊尾木川および物部川に放流された人工海産アユは孵化後から希釈海水（18～20 psu）で飼育されていたことから、Bパターンを示す個体は人工海産アユの可能性が高いことになる。その他、Bパターンを示した個体が人工海産アユと断定できる論拠は、チャート解読による半海水から淡水への馴致期間にある。すなわち、Bパターンを示した個体のチャートパターンと耳石上の日周輪数を照合すれば、淡水馴致期間は平均 100 ± 3.6 日（ $n=7$ ）となり、実際に10月中旬頃孵化した人工海産アユが1月中旬から下旬にかけて淡水順化されていた事実と一致する。

以上、高知県伊尾木川と物部川のアユでは、Fig. 2に示す三つのチャートパターンが確認されたが、耳石 Sr/Ca 比から由来判別すれば、Aパターンを示した個体を天然遡上（鹿児島産も含む）、Bパターンが人工海産、Cパターンが湖産として、判定結果を Table 2 にまとめた。

標識痕と耳石 Sr/Ca 比による由来判別の比較 伊尾木川および物部川で捕獲されたアユの由来を標識痕と耳石 Sr/Ca 比により推定した結果、ならびに両推定結果の合致の有無を Table 2 に示す。まず、1998年度および1999年度に伊尾木川で捕獲されたアユの由来を耳石 Sr/Ca 比より推定すれば、湖産は認められず、いずれの個体も天然アユもしくは人工海産と断定できる。放流実績からすれば同河川に湖産アユの放流は行われていないことから結果に矛盾はない。しかし、標識痕から推定されたアユの由来と比較したところ、調査した29個体中、推定結果が一致しなかった個体は1998年度の3個体であった（Table 2）。これら3個体は脂鱗に欠損が認められ、これが標識痕とすれば、これらのアユは人工海産と推定されるが、耳石 Sr/Ca 比のチャートパターンの解析では天然アユと推定された。

耳石 Sr/Ca 比は通し回遊魚の回遊履歴を解読する有効な手段であるが、その一方で、同一の環境下で飼育されたサツキマスの耳石 Sr/Ca 比にかなりの個体差があるなどの問題も提起されている。¹²⁾ 上述したように、両者の判定結果に矛盾が生じたが、鱗の標識痕による判定結果を信頼するならば、耳石 Sr/Ca 比の個体差による天然アユおよび人工海産の誤認などが考えられる。一方、耳石 Sr/Ca 比による判定結果を信頼するならば、本来、標識されていない天然アユに脂鱗の欠損が生じていたことになる。この場合、天然アユの脂鱗に欠損が生じた原因は不明であるが、捕獲時や凍結保存中に生じた人為的損傷、脂鱗の発達不良もしくは奇形、鹿児島県産や高知県産の天然種苗ならば海面採捕時や輸送時に生じた損傷などが考えられる。

同様の判定の対比を1999年の物部川産アユでおこなった場合、56個体中7個体に矛盾が生じた（Table 2）。

まず、5月18日と5月25日に釣獲されたもののうち2個体は脂鱗に欠損が認められたことから標識放流された人工海産とみなせるが、耳石 Sr/Ca 比から推定すれば湖産となる。湖産の耳石 Sr/Ca 比は一生を通じて大きな変動がないため、耳石 Sr/Ca 比による判別の信頼度は高い。したがって、これら2個体は湖産とみなして問題なかろう。本来、標識が施されていない湖産に脂鱗の欠損が認められた原因として、輸送時のハンドリングによる損傷もしくは奇形などが考えられる。また、5月18日と5月25日の5個体は正常な脂鱗を有していたことから、天然アユもしくは湖産とみなせるが、耳石 Sr/Ca 比から推定すれば人工海産となる。耳石 Sr/Ca 比を信頼するならば標識ミスや鱗の再生、標識痕を信頼するなら耳石 Sr/Ca 比の個体差による誤認などが矛盾の原因となろう。

以上、高知県伊尾木川および物部川で捕獲されたアユ85個体について、その由来判別を耳石 Sr/Ca 比および脂鱗標識を用いて行った結果、両者の間で矛盾が生じたのは全体のわずか11%であった。この結果は耳石 Sr/Ca 比によるアユの由来判別が従来の標識方法と同等に有効であることを示唆するものである。

謝 辞

耳石元素分析は広島大学機器分析センターの波長分散型電子線マイクロアナライザーを用いた分析をご指導して下さった広島大学理学部地球惑星システム学科の柴田恭宏氏に感謝します。試料の捕獲に格別なるご配慮を頂いた高知県内水面漁業協同組合連合会代表理事専務、樋口清允氏、物部川漁業協同組合代表組合長理事、岩神篤彦氏に深謝致します。なお、本研究は、河川環境整備財団からの研究助成金により行った。記して謝意を表します。

文 献

- 1) 谷口順彦, 関 伸吾, 稲田善和. 両側回遊型, 陸封型および人工採苗アユ集団の遺伝変異保有量と集団間の分化について. 日水誌 1983; **49**: 1655-1663.
- 2) 梅澤彰馬, 塚本勝巳. 耳石微細構造による湖産・海産アユの判別法. 日水誌 1990; **56**: 1919-1926.
- 3) 関 伸吾, 村上直澄, 高道 昭, 谷口順彦. 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. 日水誌 1998; **64**: 720-721.
- 4) Yamashita E, Idia S, Taniguchi N, Matsuno T. Absence of galloxanthin, an apocarotenoid, in the amphidromous form of the ayu *Plecoglossus altivelis*. *Fish. Sci.* 1999; **65**: 804-805.
- 5) 関 伸吾, 谷口順彦. アイソザイム遺伝標識による放流湖産アユの追跡. 日水誌 1988; **54**: 745-749.
- 6) Pastene LA, Numachi K, Tsukamoto K. Examination of reproductive success of transplanted stock in an amphidromous fish, *Plecoglossus altivelis* (Temminck et Schlegel) using mitochondrial DNA and isozyme mar-

- kers. *J. Fish Biol.* 1991; **39**(Suppl. A): 93-100.
- 7) Seki S, Taniguchi N, Murakami N, Takamichi A. Seasonal changes in the mixing rate of restocked ayu-juveniles and assessment of native stock using an allozyme marker. *Fish. Sci.* 1994; **60**: 31-35.
 - 8) Kaewsangk K, Hayashizaki K, Asahida T, Ida H. An evaluation of the contribution of stock in the supplementation of ayu *Plecoglossus altivelis* in the Tohoku area, using allozyme markers. *Fish. Sci.* 2000; **66**: 915-923.
 - 9) Secor DH, Henderson-Arzapalo A, Piccoli PM. Can otolith microchemistry chart patterns of migration and habitat utilization in anadromous fishes? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1995; **192**: 15-33.
 - 10) Secor DH, Ohta T, Nakayama K, Tanaka M. Use of otolith microanalysis to determine estuarine migrations of Japanese sea bass *Lateolabrax japonicus* distributed in Ariake Sea. *Fish. Sci.* 1998; **64**: 744-752.
 - 11) Kawakami Y, Mochioka N, Morishita K, Tajima T, Nakagawa H, Toh H, Nakazono A. Factors influencing otolith strontium/calcium ratios in *Anguilla japonica* elvers. *Env. Biol. Fish.* 1998; **52**: 299-303.
 - 12) 海野徹也, 清家 暁, 大竹二雄, 西山文隆, 柴田恭宏, 中川平介. 耳石微量元素分析による広島県太田川サツキマスの回遊履歴の推定, 日水誌. 2001; **67**: 647-657.
 - 13) Otake T, Uchida K. Application of otolith microchemistry for distinguishing between Amphidromous and non-amphidromous stocked ayu, *Plecoglossus altivelis*. *Fish. Sci.* 1998; **64**: 517-521.
 - 14) Kakuta I, Yukawa M, Nishimura Y. Effect of water salinity on the elemental composition of otoliths from *Tridentiger obscurus obscurus*. *Bull. Soc. Sea Water Sci. Jpn.* 1997; **51**: 388-394.