

# 久慈川におけるアユの遡上生態 —耳石Sr:Ca比による回遊履歴の推定—

大竹 二雄・三木 康弘・山崎 幸夫・大森 明・小沼 洋司

Diadromy of Ayu in the Kuji-River

— Use of otolith strontium : calcium ratio for determining the migratory history of Ayu —

Tsuguo OTAKE<sup>1</sup>, Yasuhiro MIKI<sup>1</sup>, Yukio YAMAZAKI, Akira OMORI<sup>2</sup> and Yoji ONUMA<sup>2</sup>

キーワード：アユ、耳石微細分析、回遊履歴、ストロンチウム—カルシウム比

## 1. 目的

近年、海産アユ資源の減少が大きな問題になっている。このため海に流下してから河川を遡上するまでのアユの分布と回遊、成長や生残に関する知見を集積することが急務になっている。流下したアユは発育の早い時期に碎波帯に出現すること、あるいは河川を遡上するアユの日齢が200日程度であり成長率のよいものほど早期に遡上する傾向があること（兵藤・小山 1986, Tsukamoto et al. 1987, 塚本ら1989）などの知見が得られているものの、海洋における分布や回遊に関する知見は未だに断片的であることは否めない。最近、魚類の耳石の微量元素特性が生息環境の塩分や水温などに対応して変化することから、それを用いて個体の環境履歴あるいは回遊履歴を解明しようとする研究がみられるようになった（Radtke et al. 1988, Kalish 1990, Secor 1992, Secor et al. 1995, Townsend et al. 1994, Limburg 1995）。また Otake & Uchida (1997) はアユの耳石の微量元素特性（Sr:Ca比）が生息域（海、汽水、川）の変化に対応して顕著に変化することを報告した。すなわち耳石の日周輪とSr:Ca比とを組み合わせることで解析することによりアユの海洋生活期から河川遡上に至るまでの分布と回遊に関するより詳細な知見を得ることが可能となる。

本研究は耳石の微量元素特性から久慈川周辺域のアユ

の回遊や遡上生態を明らかにすることを目的としている。今年度は予備的に久慈川河口域や遡上直後のアユの耳石Sr:Ca比を調べ、それらの遡上過程の概要を把握することに焦点を絞った。

## 2. 材料と方法

海洋生活期のアユ（以下、海産稚アユと呼ぶ）は1998年4月21日に久慈川河口域の3地点（河口域: St. 1, 2, 3）および常陸那珂港南（St. 4）の計4地点で採集された10個体ずつ計40個体を材料に供した。久慈川河口域の2採集地点（St. 1, 2）と常陸那珂港南（St. 4）の地点はそれぞれ茨城県水産試験場が実施しているサケ幼稚魚分布調査で設定している測点5, 6および3に相当する。各採集地点の位置と採集時の水温、塩分については表1に示した。なお採集にはシラス曳網が用いられた。久慈川遡上アユは1998年4月23日、4月27日、5月20日に堅磐地先で投網により採集された計22個体（4月23日採集：2個体；4月27日採集：10個体；5月20日採集：10個体）、および6月10日と12日に山方町岩井橋付近で友釣りによって採集された計10個体（各5個体）を用いた（表2）。採集場所である堅磐と山方町岩井橋は久慈川の河口からそれぞれおよそ7 kmと25 km離れている。

表1 海における採集場所の位置および水温と塩分

採集日	採集場所	測点	緯度	経度	水温(°C)	塩分(psu)
98.4.21	久慈川河口	St.1	36° 28.66N	140° 37.29E	15.7	31.4
98.4.21	久慈港入り口	St.2	36° 28.67N	140° 37.64E	10.1	32.8
98.4.21	久慈港入り口	St.3	36° 28.66N	140° 37.29E	10.1	32.8
98.4.21	常陸那珂港南	St.4	36° 28.66N	140° 37.29E	10.0	32.8

\* 1 三重大学生物資源学部

\* 2 茨城県内水面水産試験場里美支場

表2 材料にしたアユの個体数、体長、体重、日齢および推定ふ化日

採集日	採集場所	測点	個体数	体長(mm)	体重(g)	日齢	推定ふ化日
98.4.21	久慈川河口	St.1	10	71.2±4.5	2.8±0.6	179±9.4	97.10.16 - 11.16
98.4.21	久慈港入り口	St.2	10	63.6±3.3	2.0±0.4	177±8.1	97.10.14 - 11.8
98.4.21	久慈港入り口	St.3	10	60.5±2.1	1.5±0.2	173±6.5	97.10.17 - 11.7
98.4.21	常陸那珂港南	St.4	10	65.6±5.1	2.1±0.5	173±10.8	97.10.14 - 11.20
98.4.23	久慈川堅磐地先	-	2	68.8±2.3	3.9±0.4	191±10.6	97.10.7 - 10.22
98.4.27	久慈川堅磐地先	-	10	75.2±4.6	4.7±1.0	185±6.7	97.10.11 - 11.1
98.5.20	久慈川堅磐地先	-	10	60.6±3.4	2.3±0.3	212±9.6	97.10.14 - 11.2
98.6.10	久慈川山方町岩井橋	-	5	138.0±9.0	40.6±10.5	241±11.0	97.9.26 - 10.24
98.6.12	久慈川山方町岩井橋	-	5	138.3±10.4	41.5±10.0	230±24.5	97.9.30 - 11.23

採集されたアユはいずれも凍結保存し、体長と体重を測定した後に耳石(扁平石)を摘出した。いずれの耳石も耳石径を測定した後、エポキシ樹脂(Epofix: ストルアス社)で包埋し、研磨して中心面を表出した。研磨表面はさらに粒径1 $\mu$ mのダイヤモンドペーストで琢磨した。耳石の研磨には粒度50 $\mu$ mと13 $\mu$ mのダイヤモンドカップ砥石を装着した鉱物薄片試料作成装置(ディスクブレンダーTS: ストルアス社)を、研磨表面の琢磨には自動試料回転装置を装着したCP-30型琢磨装置(ロジック社)を用いた。

耳石の微量元素分析には、河川域や海域で採集された個体のうちの15個体(St.1: 4個体; St.2: 3個体; St.3: 3個体; St.4: 5個体)、および4、5、6月に久慈川で採集された全ての個体(計32個体)の耳石を用いた。いずれの耳石研磨試料も表面に炭素蒸着を施した後、波長分散型X線マイクロアナライザー(EPMA; JXA8900R型: 日本電子製)を用いてカルシウム(Ca)とストロンチウム(Sr)の含量を測定した。測定においては加速電圧とプローブ電流をそれぞれ15kVと2.0x10<sup>-8</sup>Aに調節し、耳石の長径に沿った直線上を中心から縁辺に向かって5 $\mu$ m間隔で測定を行った。各測定点における電子線の直径(測定領域)は30 $\mu$ mとし、測定時間は5秒とした。なおCaとSrの濃度算出のための標準試料としてそれぞれCaSiO<sub>3</sub>とSrTiO<sub>3</sub>を用いた。分析結果については下記の方法で調べた日周輪紋と対応させた後、10輪紋(10日齢)毎にその間に含まれる測定点で得られた濃度(重量%)やSr:Ca比(Sr濃度x1000/Ca濃度)の平均値を求めて解析に供した。

耳石日周輪紋の解析はEPMA分析を行った耳石を含む全ての耳石研磨試料について行った。いずれの耳石についても描画装置を装着した光学顕微鏡(オプチフォト-2: Nikon社製)を用いて日周輪紋をトレースして輪紋

数の計数と輪紋間隔の測定を行った。

久慈川では1998年4月2日から5月14日の間に6回にわたって琵琶湖産アユの放流が行われた。このため採集されたアユを天然遡上アユと放流アユとに判別する必要がある。天然遡上アユと放流アユ(湖産アユ)とは耳石Sr:Ca比から判別が可能である(Otake & Uchida 1997)と報告されているが、久慈川のアユについても判別が可能か否かを確認するために1998年5月14日に久慈川に放流されたアユ5個体を採集し、他の採集魚と同様に耳石のEPMA分析を行った。なお放流魚については耳石の輪紋解析は行わなかった。

### 3. 結果および考察

久慈川河川(St.1)で採集された個体の体長は71.2±4.5mm(平均±標準偏差)で常陸那珂港南(St.4)の個体(65.6±5.1mm)との間には有意差がなかったもののその他の2地点のもの(St.2: 63.6±3.3mm; St.3: 60.5±2.1mm)に比べて有意に大きかった(p<0.05)(表2)。またSt.1の個体の日齢(179±9.4日)についても有意ではなかったものの他の場所のもの(St.2: 177.1±7.69日, St.3: 173±6.5日, St.4: 173±10.8日)に比べて大きい傾向がみられた。遡上魚の体長と日齢は4月23日、4月27日採集のものがそれぞれ68.8±2.3mm, 191±10.6と、75.2±4.6mm, 185±6.7日であり、5月20日採集のものはそれぞれ60.6±3.4mm, 212±9.6日であった(表2)。遡上魚の日齢は採集日の違いを差し引けば、いずれの月もSt.4の個体との間には有意差があったものの(p<0.05)、その他の場所のものとは有意差が認められなかった。すなわちこれらについてはふ化時期に有意な違いはない。日齢と採集日から推定された海産稚アユと遡上アユのふ化日はそれぞれ10月14日~11月20日と10月7日~11月2日の間にあった(表

2)。これらの推定ふ化日は久慈川におけるアユの産卵時期に含まれる。

海産稚アユの発育に伴う耳石Sr:Ca比の変化を図1に示した。耳石Sr:Ca比の変化パターンには大きく分けて2つのタイプ、すなわちふ化後増加して10~40日齢で最大(Sr:Ca比:8.1~9.6)となり、その後緩やかに減少するタイプ(Type-I)とふ化後10日程で増加したSr:Ca比が高いレベル(8~8.5)を110~130日齢まで維持するもの(Type-II)とがみられた(図2)。Type-Iでは10~40日齢でSr:Ca比が最大を示した後、70~120日齢で6~7程度になり、それ以後は大きな変化を示さなかった。また、この期間に一時的なSr:Ca比の増減を示す個体も少数ながら見られた。耳石Sr:Ca比の変化パターンがType-Iである個体は15個体の調査個体の内12個体(80%)を占め、このタイプのものが久慈川河口域の海産稚アユの主群を形成しているものと思われる。4月に遡上した多くのアユの耳石Sr:Ca比の変化パターンは海産稚アユのType-Iのものと同様であった(図3)。すなわち耳石Sr:Ca比はふ化後増加し、10~60日齢で最大(Sr:Ca比:7.7~9.3)になり、その後緩やかに減少した。また採集前の数日~10日間でSr:Ca比がさらに減少する個体もみられた。5月に遡上したアユの耳石Sr:Ca比の変化パターンも多くは海産稚アユや4月遡上のアユにみられた2つのタイプのものと同様であったが、これらとは異なる変化パターン、すなわち60

~80日齢で一時的にSr:Ca比が10~11を越えるレベルまで急激に増加する個体(Type-III)も3尾含まれた(図3, 図2)。Otake & Uchida (1997) は信濃川河口域の海洋生活期のアユの耳石Sr:Ca比が約8であったことを報告した。久慈川河口域の海産稚アユでも発育初期には耳石Sr:Ca比が約8で推移しており、この時期が海洋生活期に相当するものと思われる。すなわちType-Iでは10~40日齢、Type-IIやType-IIIでは110~130日齢まで海域に生息し、それ以後河口域に移動するものと思われる。なお遡上アユの耳石Sr:Ca比が採集直前の時期に必ずしも減少しなかったことは、採集場所である堅磐地先が感潮域に近く、いずれの個体も遡上直後だったことに因るものと考えられる。

6月に山方町岩井橋と天子町頃藤地先で採集されたアユは、調べられた10個体のうち8個体の耳石Sr:Ca比が生活史を通じて3以下の低い値で推移し、大きな変化を示さなかった(図4)。これは久慈川に5月14日放流されたアユ(湖産アユ)の耳石Sr:Ca比の変化パターン(図5)と全く同じであり、さらにOtake & Uchida (1997) が報告したのとも同様であった。このことはこれらの8個体がいずれも放流魚であることを示している。その他の2個体の耳石Sr:Ca比はふ化後20日齢から100~120日齢まで高いレベルで推移し、その後徐々に減少して160~180日齢から急激に減少した。100~120日齢までの耳石Sr:Ca比はおよそ8であり海洋生活期に相当すると考え

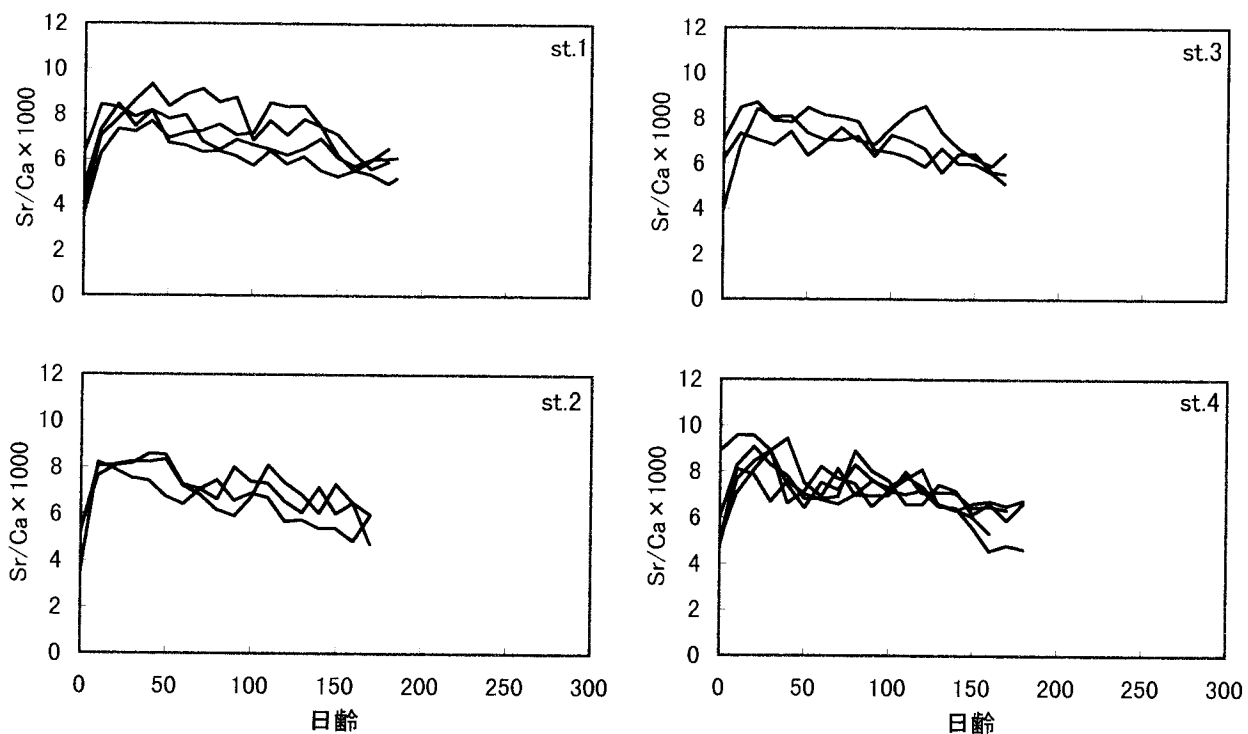


図1 久慈川河口域で採集された海産稚アユの耳石Sr:Ca比の発育に伴う変化

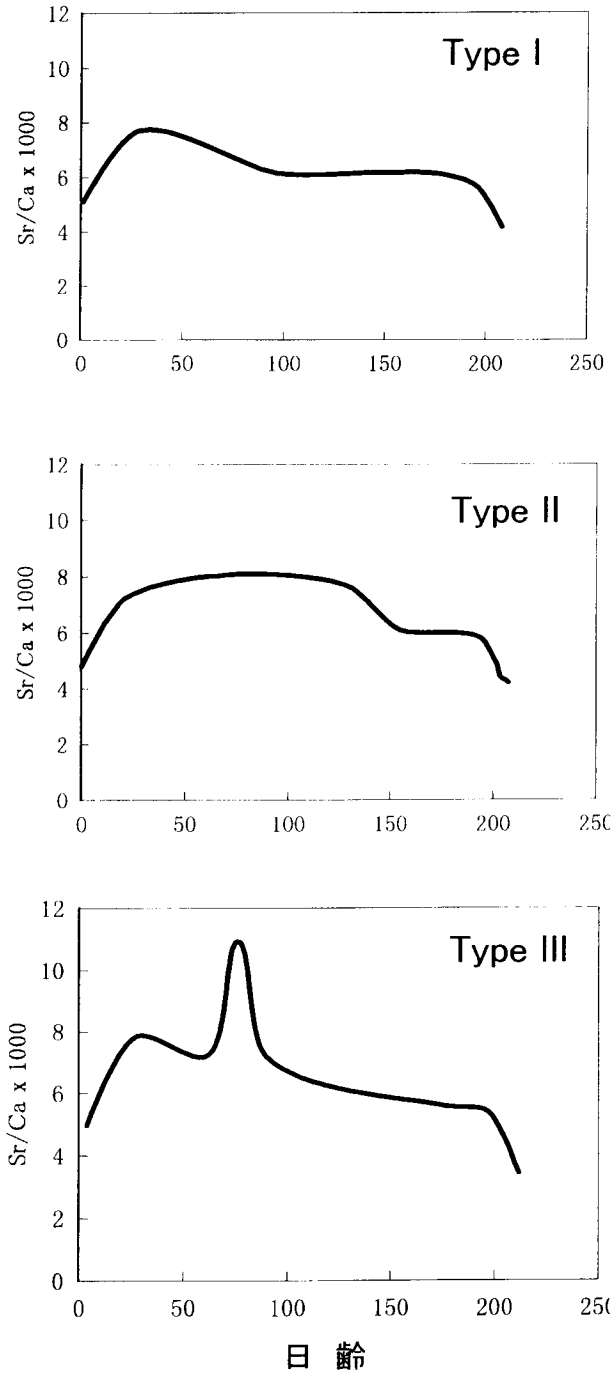


図2 久慈川河口域における海産稚アユの耳石Sr:Ca比の変化パターン

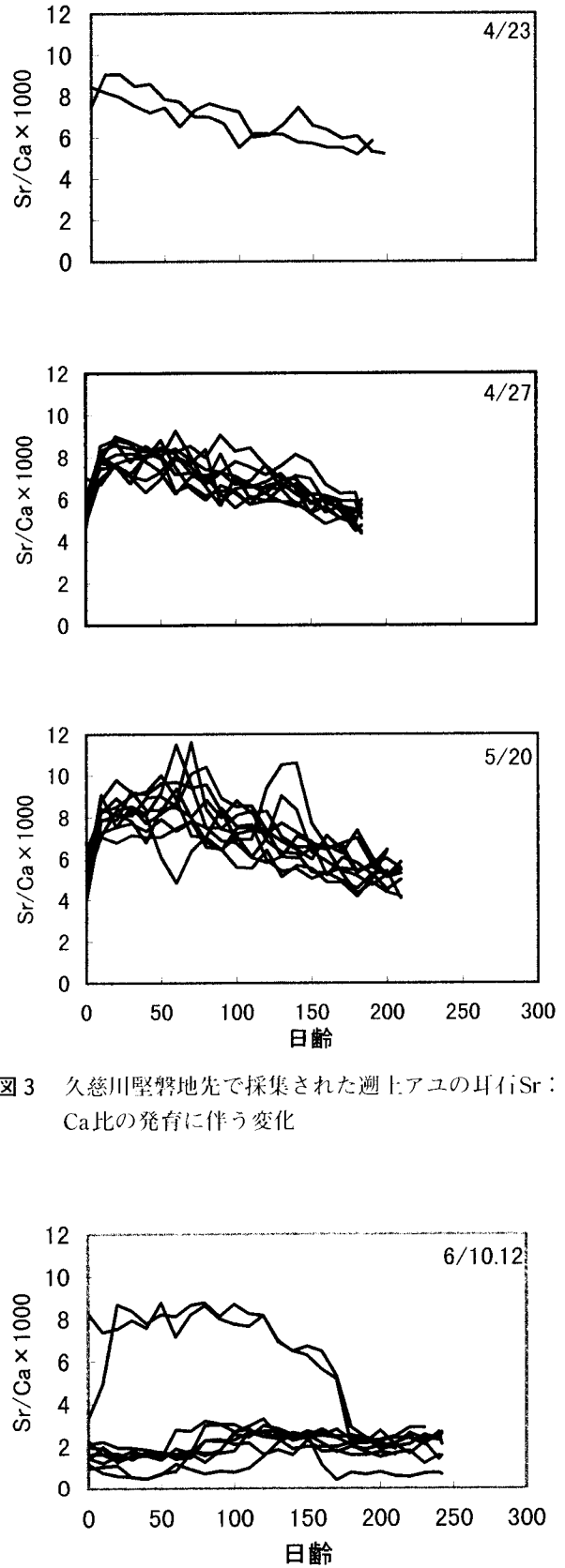


図3 久慈川堅磐地先で採集された遡上アユの耳石Sr:Ca比の発育に伴う変化

図4 久慈川山方町岩井橋で採集されたアユの耳石Sr:Ca比の発育に伴う変化

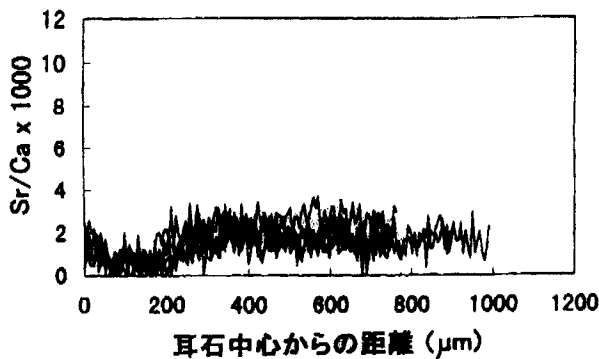


図5 久慈川に放流された湖産アユの耳石Sr:Ca比の発育に伴う変化

られる。また160~180日齢でSr:Ca比はおよそ4~6程度であり、耳石縁辺部でのSr:Ca比は約2であった。この耳石Sr:Ca比の値(=2)は放流魚の耳石縁辺部のものと同じであり、完全に生息域を淡水に移したことを示すものと考えられる。また耳石Sr:Ca比が2に減少するまでに10日間ほど要していた。なお、これらの海洋生活期における耳石Sr:Ca比の変化パターンはType-IIと同様であった。

久慈川河口沿岸域に流下したアユの回遊を概括すれば、海に流下してから10~40日齢以後から徐々に河川水の影響する河口域に生息域を移し、およそ100日齢以後は河口域に留まるようになる。そして160~200日齢程で遡上を開始し淡水域に進入するものと思われる。また100日齢を過ぎてから河口域に生息域を移すものもいるが、このような回遊をする個体群は久慈川周辺域では小さいものと思われる。

今年度の調査で、ふ化日に大きな違いがなかったにもかかわらずアユの海洋生活期における耳石Sr:Ca比の変化パターンが少なくとも3タイプに分けられることが明らかになった。すなわち同時期に久慈川河口域に分布するアユ、あるいは遡上したアユの中にも明らかに回遊履歴を異にする個体群が含まれることを示唆している。海洋生活期における耳石Sr:Ca比と水温や塩分などの環境との関係を明らかにすることができれば、より詳細な海産稚アユの分布・回遊に関する情報が得られるであろう。この海域に生息する海産稚アユを流下後の早い時期から採集し、その耳石Sr:Ca比の変化過程を採集海域の環境と対応させながら詳細に比較検討していくことによって海産稚アユの回遊経路だけでなく、集団構造を解明する上での有効な情報を得られるかもしれない。

#### 4. 要 約

(1) 久慈川河口域で4月に採集された海産稚アユ(海洋生活期アユ)、4、5月に久慈川を遡上したアユ、お

よび6月に久慈川で採集されたアユの耳石の日周輪紋と微量元素特性(Sr:Ca比)を調べた。

- (2) 各採集場所の海産稚アユの平均体長と平均日齢はそれぞれ60.5~71.2mm, 173~179日であった。また4月と5月の遡上魚ではそれぞれ68.8~75.2mm, 185~191日と60.6mm, 212日であった。これらの推定ふ化日は10月4日~11月20日であった。
- (3) 多くの海産稚アユの耳石Sr:Ca比はふ化後10~40日齢で8~8.5に増加し、その後徐々に減少して70~120日齢で6~7になった。このことは久慈川河口域の海産稚アユの主群が10~40日齢から徐々に河川水の影響する海域に移動し、70~120日齢で河口域に留まるようになったことを示唆する。また一部の個体では、耳石Sr:Ca比の高いレベルが110~130日齢まで維持されていたことから、河口域に移動する時期が遅かった個体群も含まれたことがわかる。
- (4) 4、5月に遡上した個体の耳石Sr:Ca比の変化パターンは概ね4月の海産稚アユのものと同様であったが、少数の個体に異なる変化パターンがみられた。
- (5) 6月に久慈川で採集されたアユのうち80%(12個体/15個体)は放流魚であった。

#### 謝 辞

海産稚アユの採集に協力いただいた茨城県水産試験場小曾戸誠氏と調査船「あさなぎ」船長大川克弘氏、採集海域の水温と塩分の情報を提供していただいた茨城県水産試験場武士和良氏に厚く御礼申し上げます。

#### 文 献

- 兵藤則行・小山茂生(1986)海産稚仔アユに関する研究—Ⅲ 遡上稚アユの日齢とそのふ化日について。新潟県内水試研報, 13: 1-7
- Kalish, J. M. (1990) Use of otolith microchemistry to distinguish the progeny of sympatric anadromous and non-anadromous salmonids. Fish. Bull. U. S. 88: 657-666
- Limburg, K. E. (1995) Otolith strontium traces environmental history of subyearling American shad *Alosa sapidissima*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 119: 25-35
- Otake, T. & Uchida K. (1997) Application of otolith microchemistry for distinguishing between amphidromous and non-amphidromous stocked ayu, *Plecoglossus altivelis*. Fish. Sci. 64: 517-521
- Radtke, R. L., Kinzie, R. A. III & Folsom, S. D. (1988) Age at recruitment of Hawaiian freshwater gobies. Environ. Biol. Fish. 23: 191-205
- Secor, D. H. (1992) Application of otolith microchemistry analysis to investigate anadromy in Chesapeake Bay

- stripped bass *Morone saxatilis*. Fish. Bull. U. S. **90**: 798-806
- Secor, D. H., Henderson-Arzapalo & A., Piccoli, P. M. (1995) Can otolith microchemistry chart patterns of migration and habitat utilization in anadromous fishes? J. exp. mar. Biol. Ecol. **192**: 15-33
- Townsend, D. W., Radtke, R. L., Morrison, M. A. & Folsom, S. D. (1989) Recruitment implication of larval herring overwintering distribution in the Gulf of Maine inferred using a new otolith technique. Mar. Ecol. Prog. Ser. **55**: 1-13
- Tsukamoto, K., Ishida R., Naka K. & Kajihara, T. (1987) Switching of size and migratory pattern in successive generations of landlocked ayu. Am. Fish. Soc. Symp. I: 492-506
- 塚本勝巳, 望月賢二, 大竹二雄, 山崎幸夫 (1989) 河口水域におけるアユ仔稚魚の分布・回遊・成長. 水産上木 **25**: 47-57