

河川への遡上期における人工的に飼育した アユの淡水と海水の選好性

田子 泰彦*
(2013年8月29日受理)

Which do Artificially-reared Ayu Juveniles in Brackish Water Prefer Fresh Water or Sea Water during the Upstream Migration?

Yasuhiko TAGO

Fresh water or sea water preference was examined by ayu, *Plecoglossus altivelis altivelis*, juveniles reared in the artificial pond with brackish water during the period of the upstream migration from April to July in 2003. The rate of juveniles that preferred fresh water ranged from 7.5 to 11.0 percent during the period, but that of sea water decreased from 11.3 (in April) to 0.3 (in July) percent markedly. In July ninety - two percent of juveniles that jumped up to the sea water tank once, returned to the brackish water tank again. It is suggested that most of the ayu juveniles come to avoid sea water as the size of juveniles, the water temperature and the length of daytime increased.

Key words: Ayu juveniles, Fresh water, Sea water, Preference, Upstream migration

富山湾とそれに注ぐ神通川や庄川では、野外の調査データに基づき、海産アユの生態に関する知見が多く得られている。海域から河川への遡上生態に関しても、富山湾から神通川や庄川への主な遡上時期は4～5月であることが明らかになっている(田子 2002, 2004)。しかし、漁業者や遊漁者の間では、7月においても河川中流域で下流からの新たなアユの群れの遡上が見られることが指摘されており、このことから、遅い年には7月においてもアユは海域から遡上してくると考えている人たちもいる。また、遡上時期の終わりを明確にすることは、遡上量を定量的に把握をする際にも役立つものと考えられる。

このため、本研究ではアユ稚魚が海域から河川に入る時期の終わりについて生理的に確認するために、増殖場で人工的に孵化をさせ、以後、汽水下で飼育されたアユ稚魚を用いて、遡上期においてアユが淡水と海水を選好する割合を実験的に調べた。

材料と方法

アユによる水の選好実験は2003年4～7月に水産研究所(当時は水産試験場;以下同じ)の屋外で行った。2トントラックの荷台(高さ:地上1m)に置いた2つの水槽(0.5トン)からサイ

* 富山県農林水産総合技術センター水産研究所 (Fisheries Research Institute, Toyama Prefectural Agricultural, Forestry & Fisheries Research Center, Takatsuka, Namerikawa, Toyama 936-8536, Japan)

フォンによってホースで地上に設置したアクリル水槽（長さ32.5cm，幅17.5cm，高さ23.5cm）に水を流し，その水がトレイ（長さ13cm，幅7cm，高さ5cm）を経由して衣装箱（長さ68cm，幅39cm，高さ22cm）に注ぎ込む装置を作成し（Fig. 1），衣装箱に収容したアユが5分間にどちらの水に飛び上がってアクリル水槽に入ったかを観察，計数した．衣装箱に入ったアユはトレイを通じて，自由に衣装箱とアクリル水槽を行き来できる構造になっている（Fig. 1）．実験では，アユの警戒心をできるだけ和らげるために，アクリル水槽，トレイおよび衣装箱の内側には青色のペンキを塗るとともに，一連の実験装置は建物の日陰に置いた．



Fig. 1 Photograph of the examination of water preference by ayu juveniles during upstream migration at Toyama Prefectural Agricultural, Forestry & Fisheries Research Center Fisheries Research Institute from April to July in 2003.

富山県農林水産総合技術センター水産研究所で2003年4～7月に行った遡上期におけるアユの水の選好試験の写真

実験に使用した海水と淡水は，水産研究所地先70m沖の富山湾の水深13.5mから取水した海水（塩分は32～34PSU）と水産研究所の敷地内で汲み上げた地下水であった．実験当日に用いた2つの水の温度を同じにするために，実験前日に両者の水を水槽に入れてトラックの荷台で1日放置した．

実験に用いた稚魚は富山漁協の増殖場で孵化・飼育されたアユで，水産研究所からトラックで陸送した富山湾の海水（本実験に用いた水と同じ水）と地下水を混合して，約1/4海水の飼育水で飼育された．このアユ仔魚を4～5cmの体サイズで水産研究所の屋外の飼育池に1月に収容し，富山湾の海水と水産研究所の地下水を半々に混合した水で，配合飼料を与えて実験の日まで飼育した．

衣装箱（淡水と海水を混合した1/2海水）に収容したアユは40尾とし，実験開始5分後に淡水と海水のアクリル水槽に残ったアユの個体数を計数した．実験は4月10日に6回，5月16日並びに7月9日に8回行った．使用したアユの全長範囲は4月10日では6～11cm，5月16日では7～12cm，

7月9日では1～4回の実験が11～15cm, 5～8回の実験が9～11cmであった。アクリル水槽に入れる水（ホースの内径は11mm）は実験毎に淡水と海水を交互に入れ替え、衣装箱に収容するアユも実験毎に新しい個体に入れ替えた。

なお、5月16日の実験ではアクリル水槽に一旦入っても衣装箱に戻る個体も観察されたので、5月16日の後半部分（5～8回）と7月9日には、アクリル水槽に残った個体だけでなく、アクリル水槽に一旦入って戻った個体の数も記録した。

結 果

4月10日の実験結果を Table 1に示した。実験開始時の水温は地下水、海水ともに10℃で、アクリル水槽に入ってしまったアユの平均値は、水産研究所の地下水では3.0個体、富山湾の海水では4.5個体で、富山湾の海水を選好したアユの数が多かったが、両者の平均値には有意な差は認められなかった（対応のある t 検定, $t = 1.34$, $p = 0.24$ ）。

5月16日の実験結果を Table 2に示した。実験開始時の水温は地下水、海水ともに15℃で、アクリル水槽に入ってしまったアユの平均値は、水産研究所の地下水では4.4個体、富山湾の海水では2.3個体で、4月10日とは逆に淡水を選好したアユの数が多かったが、両者の平均値には有意な差は認められなかった（対応のある t 検定, $t = 1.47$, $p = 0.18$ ）。また5回目以降の実験時においてアクリル水槽から衣装箱に戻った率は、水産研究所の地下水では25～100%、富山湾の海水では0～73%で、両者の間には有意な差は認められなかった（独立性の検定, $\chi^2 = 0.006$, $p = 0.938$ ）。

7月9日の実験結果を Table 3に示した。実験開始時の水温は地下水、海水ともに21℃で、アクリル水槽に入ってしまったアユの平均値は、水産研究所の地下水では3.6個体、富山湾の海水では0.1個体で、5月16日と同様に淡水を選好したアユの数も多く、両者の平均値には5%水準で有意な差が認められた（対応のある t 検定, $t = 2.45$, $p = 0.044$ ）。アクリル水槽から衣装箱に戻った率を両者で比べると、水産研究所の地下水では0～50%、富山湾の海水では50～100%（全体では91.7%）で、こちらは海水の方が高く、両者には有意な差が認められた（独立性の検定, $\chi^2 = 12.798$, $p < 0.001$ ）。

Table 1 Number of ayu juveniles jumped up to the water tank filled with fresh or sea water from the brackish water tank in which forty juveniles were taken in for five minutes at 10℃ water temperature on 10th April, 2003.

2003年4月10日に水温10℃で行った実験で、40尾のアユ稚魚が収容された汽水の水槽から、5分間に、淡水または海水で満たされた水槽に跳びはねて入ったアユの数

Experiment number	Fresh water	Sea water
1	0	0
2	3	5
3	4	9
4	1	4
5	6	8
6	4	1
Average	3.0	4.5

Table 2 Number of ayu juveniles that entered and resided in the water tank filled with fresh or sea water from the brackish water tank in which forty juveniles were taken in for five minutes at 15 °C water temperature on 16th May, 2003.

2003年5月16日に水温15°Cで行った実験で、40尾のアユ稚魚が収容された汽水の水槽から淡水もしくは海水で満たされた水槽に5分間に入ったアユの数とそのまま水槽に残っていたアユの尾数

Experiment number	Entered		Resided		Returned		Returned rate (%)	
	Fresh water	Sea water	Fresh water	Sea water	Fresh water	Sea water	Fresh water	Sea water
1	—	—	8	1	—	—	—	—
2	—	—	0	1	—	—	—	—
3	—	—	7	2	—	—	—	—
4	—	—	1	0	—	—	—	—
5	6	0	4	0	2	0	33.3	—
6	2	5	0	5	2	0	100	0
7	8	8	6	6	2	2	25.0	25.0
8	16	11	9	3	7	8	43.8	72.7
Total	32	24	19	14	13	10	—	—
Average	8.0	6.0	4.4	2.3	3.3	2.5	—	—

Table 3 Number of ayu juveniles that entered and resided in the water tank filled with fresh or sea water from the brackish water tank in which forty juveniles were taken in for five minutes at 21°C water temperature on 9th July, 2003.

2003年7月9日に水温21°Cで行った実験で、40尾のアユ稚魚が収容された汽水の水槽から淡水もしくは海水で満たされた水槽に5分間に入ったアユの数とそのまま水槽に残っていたアユの尾数

Experiment number	Entered		Resided		Returned		Returned rate (%)	
	Fresh water	Sea water	Fresh water	Sea water	Fresh water	Sea water	Fresh water	Sea water
1	2	0	2	0	0	0	0	—
2	0	0	0	0	0	0	—	—
3	3	3	3	0	0	3	0	100
4	3	2	3	1	0	1	0	50.0
5	2	0	1	0	1	0	50.0	—
6	7	2	7	0	0	2	0	100
7	18	3	12	0	6	3	33.3	100
8	2	2	1	0	1	2	50.0	100
Total	37	12	29	1	8	11	—	—
Average	4.6	1.5	3.6	0.1	1.0	1.4	—	—

アクリル水槽に入って残ったアユの割合の平均値の推移を Fig. 2に示した。淡水を選択したアユの割合は実験期間を通して、7.5~11.0%にあったが、海水を選択したアユのそれは4月の11.3%から7月の0.3%へと急激に低下した。

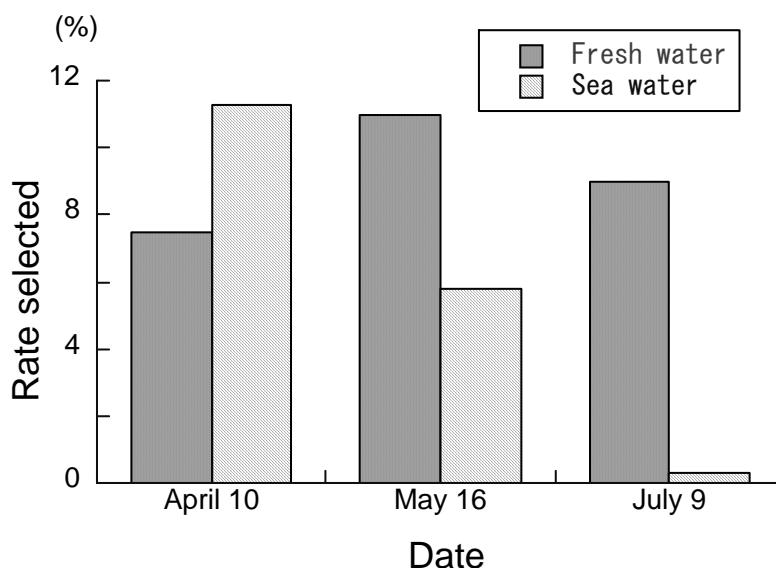


Fig.2 Average rate of ayu juveniles which jumped up to the water tank filled with fresh water or sea water from the brackish water tank for five minutes in the examination of the preference of fresh water or sea water.

淡水と海水との選好実験において、アユが収容された汽水の水槽から、淡水または海水の水槽に5分間に跳び上がって入った平均個体数の割合

考 察

淡水と海水の選好実験では、4月には海水を選んだ個体が多かったのに対して、5月には淡水を選ぶ個体が多くなり、7月には、両者の平均値においても統計的に有意に、淡水を選んで水槽に残る個体が多くなった (Tables 1~3). 4~7月の両水への反応を見てみると、淡水を選択した個体の割合は、平均7.5~11.0%の値を維持したのに対して、海水では4月では淡水より高かったにもかかわらず、5月から7月では海水へ残る個体は急激に少なくなった (Fig. 2). 5月以降に観察した元の衣装箱に戻る率については、5月 (水温15°C) では両者の率には有意な差は認められなかったものの、7月 (水温21°C) では両者には有意な差が認められるようになった (Tables 2, 3).

本実験では試験水の水量確保等の制約から、アユが飼育されている環境を急に変えて行わざるを得ない。このような状況下ではアユにストレスが加わるとともに警戒感が生じるため、すべての個体が実際のフィールドのような行動をスムーズにとるとは考えにくい。このため、上流に位置する水槽にアユが遡上した割合が低かったものと推測される。しかし、本実験では上流に位置する水槽と下流の衣装箱はトレイで往復が自由にできることから、上流の水槽の水が生理的に合わなければ衣装箱に戻ることは可能であり、これはストレスや警戒感を越えた行動と考えられる。このため、遡上したアユの割合は低いものの、淡水と海水を選択し、残留したアユの個体数の統計学的に有意な違いは、アユの生理的な行動を反映しているものと考えられる。

小山 (1978) は、三重県櫛田川で採集した遡上アユ (体長7.1~10.5cm) を用いた実験で、実験

前に5日間汽水に馴致したアユでは淡水には弱い選好性は示すものの、海水は回避することが分かったとしている。小山の実験(1978)ではすでに河川水(淡水)を選択した個体のある時期だけの結果であり、また、本実験の衣装箱に該当する水槽での個体の集散状況から判断している。本実験での観察でも水槽内での集散状況は常に変化し、水槽内の観察ですべての個体の選好性を判断するには難しい面がある。

一方、本実験では淡水飼育の経験(前歴)がない上、両方の水が流れ込む水槽の中での個体の集散状況からの判断ではなく、水が流れ込む上流の水槽に実際に遡上、または水槽から降下した個体で判断している。さらに遡上期の初期、中期、後期以降にそれぞれ実施していることから、この時期のアユの選好性に関しては、小山(1978)の実験よりも確かな傾向が把握できたと考えられる。本実験では遡上初期の4月上旬および中期の5月中旬には淡水と海水に対する選好性の違いは認められなかったが、遡上後期を過ぎた7月上旬の実験では、汽水飼育の人工アユにおいても小山(1978)の実験結果と同様に、淡水への選好性を示し、海水を回避する結果が得られている。

神通川や庄川では大きな個体から遡上を開始して、小さな個体で遡上が終わる傾向が認められ(田子 2004)、神通川河口周辺海岸の塩分がやや低い砕波帯では水温が17℃を超えるとアユは採集されなくなった(田子 2002)。また、浸透圧調節には水温が高いほど多くのエネルギーを要すると考えられること(岸野ら 2008)および日長に影響されるアユの淡水馴致に関するプロラクチン(川本1966, 平野 1994)は遡上前の海域においてその濃度が高くなっていること(矢田2008)を併せて考えると、アユ稚魚は体サイズが大きくなり、水温が高くなり、日長が長くなるにつれて、次第に海水を避けるようになるものと考えられる。

一方、アユは広塩性の魚であり、日本海に注ぐ福井県の北川では成長期のほとんどを塩分の高い海水で過ごし、産卵期に河川に遡上してくる小さなアユが存在することが報告されている(Iguchi et al 2005)。産卵期だけ河川を利用する小アユが生じるメカニズムの解明も待たれるところであるが、富山湾に注ぐ河川では同様な報告は今のところない。また、仮に北川のようなアユが存在したとしても、2002~2010年のアユの遡上量は、神通川では百万尾~25百万尾、庄川では百万尾~11百万尾と推定されることから(田子 2011)、それらの小アユが海産アユ全体に占める割合は極めて小さいものと推測される。

富山湾に注ぐ河川では、個体の成長、水温の上昇および日長の伸長に伴って海水を避けるようになる生理機構により、一部に低塩分域で滞留する個体が存在する可能性は残すものの、海水温が17℃を超える7月以前には、大部分のアユが河川へ遡上していくものと考えられる。

謝 辞

本論文をとりまとめるに際しては、独立行政法人水産総合研究センター増養殖研究所内水面研究部(当時)の井口 恵一朗博士並びに富山県農林水産総合技術センター水産研究所(当時)の前田経雄博士から貴重なご助言をいただいた。本研究の実施に当たっては、富山漁業協同組合の役職員並びに水産研究所の職員のご理解とご協力を得た。ここに、心を込めて感謝の意を表す。

要 約

河川への遡上期において、汽水で飼育された人工アユを用いて淡水と海水に対する選好実験を2003年4～7月に行った。実験では、淡水を選んだアユ稚魚の割合は期間を通して7.5～11.0%であったのに対して、海水を選んだ割合は4月の11.3%から7月の0.3%へと著しく減少した。水温が21℃であった7月には、海水の水槽に一旦入った個体の91.7%が元の汽水の水槽に戻った。個体の成長、水温の上昇および日長の伸長に伴って、大部分のアユ稚魚は海水を避けるようになるものと考えられた。

文 献

- 平野哲也 1994. 降海と陸封の生理学的メカニズム. pp. 20-39. 海と川を回遊する淡水魚—生活史と進化— (後藤昇・塚本勝巳・前川光司 編). 東海大学出版会.
- Iguchi K., Y. Iwata, M. Nishida and T. Otake 2005 Skip of the routine habitat in an amphidromous migration of ayu. *Ichthyological. Research.* 52, 98-100.
- 川本信之 1966. 浸透圧. pp. 307-331. 魚類生理生態学, 水産学全集13, 恒星社厚生閣, 東京.
- 岸野 底・四宮明彦・寿 浩義 2008. リュウキュウアユ仔魚の水温・塩分耐性に関する生残試験. *魚類学雑誌*, 55(1), 1-8.
- 小山長雄 1978. アユの生態. 中公新書, 東京, 176pp.
- 田子泰彦 1999. 庄川におけるアユ仔魚の降下生態. *日本水産増殖学会誌*, 47(2), 201-207.
- 田子泰彦 2002. 富山湾の湾奥部で育成したアユ稚魚の河川への回遊遡上. *日本水産学会誌*, 68(4): 554-563.
- 田子泰彦 2004. 富山湾への流入河川における遡上アユの大きさと水温の関係. *日本水産増殖学会誌*, 52(4): 315-323.
- 田子泰彦 2011. 庄川におけるアユの良好漁場と不良漁場の漁獲実態と生息環境の違い. pp. 67-77. 良好なアユ漁場を維持するための河川環境調査の指針, 水産庁.
- 矢田 崇 2008. アユ仔魚の環境適応に関する遺伝子. 338p. 平成20年度日本水産学会 春期大会講演要旨集.