

異なる塩分で飼育したアユ仔魚の初期の生残率と大きさ

田子 泰彦・渡辺 孝之

(2009年6月12日受理)

Survival rate and size of early larvae of ayu reared in several salinities in aquaria

Yasuhiko TAGO*¹ and Takayuki WATANABE*²

Survival rate and size of early larvae of ayu reared under several salinity conditions were examined in temperatures of 13-16 °C and of 20-24 °C. Ayu larvae were reared by four salinities (8, 16, 24 and 32 PSU) in the aquaria (60cm long, 30cm wide, 36cm high) for 15 days. Survival rate of larvae reared in brackish water (8, 16 and 24 PSU) was higher than that of larvae reared in seawater (32 PSU) in both temperatures. The size of larvae reared in brackish water was larger than that of larvae reared in seawater. These results suggest that survival rate and growth of ayu larvae in brackish water is better than that of larvae in seawater, and the extension of brackish water area around the near coast leads to an increase in juveniles migrating to the river.

Key words: Ayu larvae, Seawater, Brackish water, Survival rate and size

河川中下流域で孵化したアユ*Plecoglossus altivelis*の仔魚は、海域に到達後、海水に乗っかる形で河川水とともに海域の表層を拡散していく(田子 2008)。干満の差が20~30cmと小さい日本海側の富山湾では、仔魚が降海する秋頃には、表層付近に安定した塩分躍層が形成され、アユ仔魚(本稿では体長約20mmまでの個体;以下同じ)はその塩分躍層の上側の汽水域を主な生息域としている(田子 2002)。一方、干満の差が2~3mと大きい太平洋側の土佐湾では、表層に塩分躍層が形成される時期には、富山湾と同様、アユ仔魚は表層を生息域としている。そして、仔魚は表層だけでなく、中層から底層にも分布したが、それは河川水の影響が底層まで及ぶ鉛直混合期だけであったと報告されている(八木ら 2006)。また、太平洋側に注ぐ河川では河口部が重要な生息域の一つとされている(塚本ら 1989, 高橋ら 1990, Takahashi et al. 1998, 吉本ら 2006, 岸野・四宮 2005)。このように、アユ仔魚にとっては汽水域が重要な生息域であることが明らかとなってきた。

海域でのアユの生態が一連の研究成果として普及されるにつれ、漁業者などの漁協関係者だけでなく、遊漁者や一般の人からも海産アユ遡上量の予測を望む強い声が聞かれるようになった。海産アユの遡上量の予測は、単に漁業者や遊漁者の当年の漁の期待感を満たすだけでなく、漁協にとっても遡上量が多いと予測される年には少ない量の種苗を放流し、少ないと予測される年には多い量の種苗を放流するなどして、適正な放流計画の立案と実行が可能になる。これらは、漁協の運営が円滑になるだけでなく、適正な漁場管理も可能となり、遊漁者の増大につながって、

*¹ 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, Namerikawa, Toyama 936-8536, Japan)

*² 現富山県水産漁港課 (Toyama Prefectural Fisheries and Fishing Ports Division, 1-7 Sinsogawa, Toyama, Toyama 930-8501, Japan)

漁協の収入増に寄与する可能性も大きくなることが期待される。

魚の資源量に影響を及ぼす大きな要因としては、初期減耗、逸散および捕食などがあるが、中でもアユのような1年魚では初期減耗の多寡が資源量に大きな影響を及ぼし、翌年の遡上量を大きく左右すると考えられる(中田 1991)。本研究では、海産遡上アユ量の予測を行うに当たり、アユ仔魚の主要な生息域である河口海域表層における汽水域の広がり的大小が、アユ仔魚の生残や成長に影響を及ぼすのではないかと考えて、異なる塩分別にアユ仔魚の飼育試験を行った。

材料と方法

アユの飼育試験は、2005年10月31日から11月15日および2006年9月15日から9月30日の各15日間、富山県水産試験場(当時)の屋内(光は日光のみで、大部分が東側に設置された窓から入る)において、アクリル水槽(長さ60cm×幅30cm×高さ36cm)を用いて行った(Fig. 1)。2005年に試験に用いたアユ仔魚は、富山市八尾町薄島にある富山漁業協同組合アユ増殖場において、神通川で採捕された親から10月12日に採卵・受精した発眼卵を、10月26日に水産試験場のアクリル水槽に收容し、10月29~30日に孵化・浮上した個体(平均脊索長±標準偏差は6.85±0.33mm, N=120)であった。2006年には、富山市吉倉にある富山漁業協同組合アユ・マス増殖場において、神通川産系のアユを6代継代飼育した親から9月1日に採卵・受精した発眼卵を、9月11日に水産試験場のアクリル水槽に收容し、9月15日に孵化・浮上した個体(平均脊索長±標準偏差は6.70±0.35mm, N=60)を用いた。

各水槽には無作為に選んだ仔魚をそれぞれ100尾收容した。水槽は各群につき4水槽を用い、塩分を淡水(地下水)と海水を用いてそれぞれ海水、3/4海水, 1/2海水, 1/4海水に調合した。1群は下部が鉄筋の台(高さ53cm)の上に、2~4群はコンクリートの床の上に置いた。各水槽は壁面から光が入らないように外側を黒のポリエチレンシートで覆った。飼育当初は飼育水量40Lで開始した。飼育水は止水とし、エアレーションを用いた。各水槽には飼育1日目から餌を含み塩分を調合した飼育水を毎日2L加えた。飼育7日目からは水槽の底掃除を兼ねて2Lの水をサイフォンで排出し、飼育水量を50Lに保った。アユ仔魚の餌にはシオミズツボワムシのS型を用いた。シオミズツボワムシは円形プラスチック水槽にて、水温25°C, 1/2海水で培養した。仔魚への給餌は各水槽における1mL当たりのシオミズツボワムシを計数し、各水槽のシオミズツボワムシの個体数が約5個体/mL

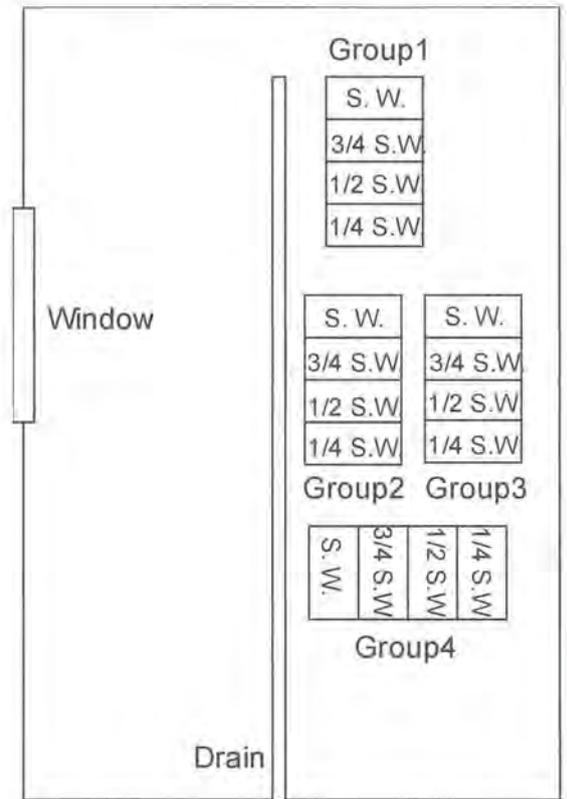


Fig. 1 Outline of aquaria for ayu larvae
アユ仔魚の飼育水槽の平面図

になるような量を投与した。

飼育水の塩分は塩分・水温計 (Kent, EIL5005) を用いて、飼育開始前、飼育中間日および飼育終了後に測定した。水温は水銀棒状温度計を用いて、照度は照度計 (Lux meter ANA-F9) を飼育水面に近づけて、毎日原則として午後2~3時の間に測定した。飼育試験終了時にはすべての仔魚をサイフォンを使ってタモ網で採集し、その場でアルコール固定した。アルコール固定した仔魚を計数するとともに、仔魚の標準体長 (または脊索長) を万能投影機で10倍に拡大してトレースの後、キルビメーターを用いて測定した。

結 果

飼育環境

塩分 各飼育水槽の飼育開始日、飼育中間日、飼育終了日における飼育水の塩分濃度をTable 1に示した。塩分の範囲は、2005年では海水飼育群では32~33PSUに、3/4海水飼育群では24~25PSUに、1/2海水飼育群では16~17PSUに、1/4海水飼育群では8~9PSUにあった。2006年では海水飼育群では30~31PSUに、3/4海水飼育群では23~24PSUに、1/2海水飼育群では16~17PSUに、1/4海水飼育群では8~9PSUにあり、両年ともに飼育期間を通して設定どおりの塩分を維持できた。

Table 1 Salinity (PSU) of each aquarium.
各飼育水槽の塩分

Period	Group	Aquarium	First day	Middle day	Final day
			1. Nov	8. Nov	16. Nov
1. Nov. - 16. Nov. in 2005	1	Sea water	32.50	32.81	33.10
		3/4 Sea water	24.50	24.60	24.70
		1/2 Sea water	16.20	16.40	16.80
		1/4 Sea water	8.30	8.40	8.50
	2	Sea water	32.40	33.12	33.00
		3/4 Sea water	24.40	24.60	24.90
		1/2 Sea water	16.50	16.90	16.90
		1/4 Sea water	8.40	8.55	8.70
	3	Sea water	32.65	32.55	33.16
		3/4 Sea water	24.10	24.30	24.80
		1/2 Sea water	16.40	16.75	17.00
		1/4 Sea water	8.20	8.40	8.70
	4	Sea water	33.05	32.64	32.79
		3/4 Sea water	24.10	24.60	24.60
		1/2 Sea water	16.10	16.60	17.00
		1/4 Sea water	8.50	8.80	8.90
Period	Group	Aquarium	First day	Middle day	Final day
			15. Sep	25. Sep	30. Sep
15. Sep. - 30. Sep. in 2006	1	Sea water	30.50	30.40	30.40
		3/4 Sea water	23.50	24.10	23.70
		1/2 Sea water	16.10	16.40	16.50
		1/4 Sea water	8.30	8.40	8.50
	2	Sea water	30.20	30.20	30.40
		3/4 Sea water	22.90	23.70	23.70
		1/2 Sea water	16.10	16.60	16.50
		1/4 Sea water	7.90	8.40	8.50
	3	Sea water	30.20	30.00	30.50
		3/4 Sea water	22.60	23.40	23.70
		1/2 Sea water	15.60	16.10	16.30
		1/4 Sea water	8.20	8.60	8.70
	4	Sea water	29.70	30.30	30.40
		3/4 Sea water	23.40	23.90	23.90
		1/2 Sea water	15.90	16.40	16.60
		1/4 Sea water	8.30	8.70	8.80

水温 飼育期間中における各飼育水槽の水温の範囲と平均値をTable 2に示した。飼育水温の範囲は、2005年では1群では13.0~15.8°C, 2群では13.4~15.8°C, 3群では13.8~16.3°Cに、4群では13.4~16.1°Cにあり、各群とも群内では水温の平均値に有意な差は認められなかった(分散分析, 各P>0.58)。2006年では1群では19.7~24.0°C, 2群では19.7~23.2°C, 3群では19.9~23.5°Cに、4群では19.6~23.1°Cにあり、各群とも群内では水温の平均値に有意な差は認められなかった(分散分析, 各P>0.88)

照度 飼育期間中における各飼育水槽上面の照度の範囲と平均値をTable 2に示した。照度の範囲は、2005年では1群では6~246ルクスに、2群では11~162ルクスに、3群では7~185ルクスに、4群では4~78ルクスにあった。2006年では1群では31~325ルクスに、2群では28~242ルクスに、3群では22~205ルクスに、4群では15~135ルクスにあった。両年とも日光の強さは仔魚の生残に悪影響を与えない強度であった(伊藤ら 1965, 小山 1978)。

Table 2 Temperature and illuminance of each aquarium at 14:00-15:00
午後2~3時における各飼育水槽の水温と照度

Period	Group	Aquarium	Temperature (°C)		Illuminance (Lux)	
			Mean	Range	Mean	Range
1. Nov. - 16. Nov. in 2005	1	Sea water	14.3	13.0-15.8	47	6-152
		3/4 Sea water	14.3	13.0-15.8	48	7-159
		1/2 Sea water	14.3	13.0-15.8	63	9-160
		1/4 Sea water	14.3	13.0-15.8	87	12-246
	2	Sea water	14.6	13.4-15.8	81	16-162
		3/4 Sea water	14.6	13.4-15.8	75	15-162
		1/2 Sea water	14.6	13.4-15.7	66	13-162
		1/4 Sea water	14.6	13.4-15.7	57	11-140
	3	Sea water	14.9	13.8-16.3	57	7-154
		3/4 Sea water	15.0	13.8-16.3	62	6-185
		1/2 Sea water	15.0	13.9-16.3	58	7-164
		1/4 Sea water	15.0	13.9-16.3	55	6-160
	4	Sea water	14.5	13.4-15.8	35	7-72
		3/4 Sea water	14.6	13.5-15.8	33	6-78
		1/2 Sea water	14.7	13.6-15.9	27	5-66
		1/4 Sea water	14.8	13.8-16.1	30	4-75
15. Sep. - 30. Sep. in 2006	1	Sea water	21.5	19.8-24.0	91	33-169
		3/4 Sea water	21.3	19.8-23.9	123	31-215
		1/2 Sea water	21.3	19.7-23.8	143	33-285
		1/4 Sea water	21.4	19.8-23.9	159	47-325
	2	Sea water	21.3	19.9-23.2	126	34-242
		3/4 Sea water	21.2	19.8-23.1	111	28-201
		1/2 Sea water	21.1	19.7-23.0	92	36-170
		1/4 Sea water	21.1	19.7-23.0	71	35-129
	3	Sea water	21.5	20.2-23.5	105	40-205
		3/4 Sea water	21.4	20.2-23.5	96	36-199
		1/2 Sea water	21.4	20.0-23.4	74	22-151
		1/4 Sea water	21.2	19.9-23.3	65	22-129
	4	Sea water	21.1	19.7-23.1	66	29-135
		3/4 Sea water	21.1	19.6-23.0	59	24-120
		1/2 Sea water	21.1	19.7-23.0	55	19-111
		1/4 Sea water	21.2	19.8-23.1	53	15-104

仔魚の生残率

2005年（飼育水温13~16°C） 塩分別のアユ仔魚の生残率と χ^2 検定（独立性の検定）結果をTable 3に示した。各汽水飼育群の生残率の平均値（78.3~85.0%）は海水飼育群のそれ（76.8%）を上回った。海水飼育群の生残率は各汽水飼育群の90.4~98.1%であった。汽水飼育群の生残率は1/4海水飼育群のみが海水飼育群と有意な差が認められなかったが、その他の汽水飼育群および汽水飼育群全体の生残率（82.0%）は海水飼育群のそれより有意に高かった。

汽水飼育群間では、1/2海水飼育群（85.0%）と1/4海水飼育群（78.3%）の生残率に有意な差が認められ、その他の群間には有意な差は認められなかった。

2006年（飼育水温20~24°C） 塩分別のアユ仔魚の生残率と χ^2 検定（独立性の検定）結果をTable 3に示した。各汽水飼育群の生残率の平均値（20.5~45.8%）は全海水飼育群のそれ（11.0%）を上回った。海水飼育群の生残率は汽水飼育群の24.0~53.7%であった。各汽水飼育群および汽水飼育群全体の生残率（33.7%）は、すべて海水飼育群よりも有意に高かった。

汽水飼育群間では、1/2飼育群（45.8%）、3/4飼育群（34.8%）および1/4飼育群（20.5%）の順に有意に生残率が高かった。

Table 3 Number of survived ayu larvae reared in several salinities for 15 days under 13-16 °C (in 2005) and 20-24 °C (in 2006) water temperature. Initial number of larvae was 100.

水温13-16°C (2005年) と20-24°C (2006年) において、異なる塩分で15日間飼育したアユ仔魚の生残尾数。飼育開始時の仔魚数は100尾。

Water temperature	Salinity	Number of survived larvae					χ^2 -value to:			
		G1	G2	G3	G4	Average	3/4 S. W.	1/2 S. W.	1/4 S. W.	3/4-1/4 S. W.
13-16°C	Seawater	71	83	71	82	76.8	4.46*	8.80**	0.26	5.31*
	3/4 S. W.	78	93	72	88	82.8	-	0.75	2.58	-
	1/2 S. W.	73	90	86	91	85.0	-	-	6.08*	-
	1/4 S. W.	84	83	66	80	78.3	-	-	-	-
20-24°C	Seawater	5	34	5	0	11.0	63.94**	118.83**	13.60**	76.46**
	3/4 S. W.	13	47	22	57	34.8	-	10.06**	20.31**	-
	1/2 S. W.	3	71	40	69	45.8	-	-	57.56**	-
	1/4 S. W.	3	24	13	42	20.5	-	-	-	-

S. W.: Seawater, G; Group, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

仔魚の体長

各飼育群で仔魚の生残尾数（生息密度）に大きな差が認められなかった2005年（飼育水温13~16°C）の塩分別のアユ仔魚の標準体長をFig. 2に示した。塩分別飼育群の標準体長の平均値は、最も生残数が少なかった海水飼育群では8.7mmで、他の各汽水飼育群はすべて9.0mmであった。各飼育群の標準体長の分散は等しく（Bartlett test, $p=0.79$ ）、各飼育群の平均値には有意な差が認められた（分散分析, 各 $P<0.001$ ）。海水飼育群の標準体長の平均値は、いずれの汽水飼育群のそれに比べても有意に小さかった（Fishers PSLD, 各 $P<0.01$ ）。

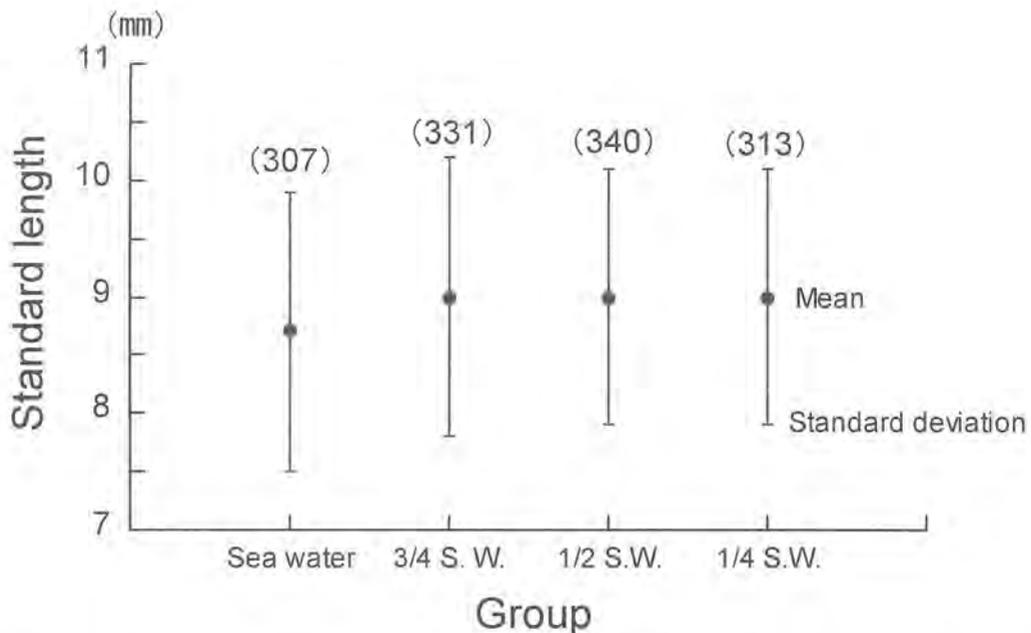


Fig. 2 Mean and standard deviation of standard length of ayu larvae reared in several salinities. Numerals in parentheses indicate sample size.

異なる塩分で飼育したアユ仔魚の体長の平均値と標準偏差。()内の数は個体数を示す。

考 察

仔魚の生死の確認 水量20Lのポリエチレン水槽に100尾のアユ仔魚を入れて、初期の飼育試験を行った田端・東(1986)は、仔魚の斃死の確認が可能になるのは孵化後10日目頃からとし、最終生残尾数から生残過程を推定している。今回の研究では田端・東(1986)の2倍の水量の40~50Lの亚克力水槽に100尾を入れて飼育試験を行った。著者らが行った水面上からの観察では、仔魚が底に横たわって死んでいるように見えても刺激を加えると動き出す場合があり、また、完全に死んでいると判断出来た場合では、その日以前に死んだ可能性も否定できず、仔魚の生死の判別は困難であった。このため、今回の研究では、曖昧さを排除するために、15日目の生残尾数と体長での比較を行った。アユ仔魚の初期における生死の確認は、大きな飼育水槽ほど困難になるものと考えられる。

なお、田端・東(1986)は、孵化後の早い時期に高い斃死率があったと考えているが、今回の著者らの観察でも、10日目以降には仔魚が多数いる水槽と少数しかいない水槽の判別が容易になったことから、田端・東(1986)と同様、孵化後比較的早い段階で大きな減耗が起こったものと推測される。

仔魚の生残率と成長 伊藤ら(1971)は、1L容量のガラス製ビーカー5個を用いて、それぞれに淡水、3つの濃度の汽水(3.79, 11.56および22.58PSU:原典は塩素量Clによる記述, $S = 1.80655 \times Cl$ として換算)および海水(32.70PSU:同)の5種類の塩分の飼育水を満たし、そこにアユ仔魚を各20尾入れて、それらを室温(約13°C)、15°C、20°C、25°Cおよび30°Cの各水温に分けて、無

給餌（絶食）で飼育を行い、半数生残日数を比較した。その結果、いずれの水温においても、半数生残日数は海水飼育群が最も短かった。また、半数生残日数と塩分の関係を比較し、半数生残日数は水温13~15°Cの低温部では淡水と低塩分飼育群が最も長く、高塩分飼育群では半数生残日数は著しく低下する。しかし、水温20~30°Cの高温部では淡水の半数生残日数は水温が高いほど著しく低下し、かつ海水のそれも30°Cでは急激に低下し、両者の半数生残日数は最短となるのに対して、汽水のそれは最長となったと報告している。

また、田端・東（1986）は300mL容量のガラス製ビーカーを用いて、それぞれ4つの濃度（0, 7, 14および30‰）の飼育水を満たし、そこにアユ仔魚を各20~40尾入れて、それらを18°C, 22.5°Cおよび25°Cの各水温に分けて、無給餌（絶食）で飼育を行い、半数生残日数（半数致死日数）を比較した。その結果、いずれも生残日数は海水飼育群が最も短かった。そして、水温18°Cでは0‰飼育群が、22.5°Cと25°Cでは7‰飼育群が最も生残日数が長かったと報告している。岸野ら（2008）は平均体長6.2mm, 10.7~12.1mmおよび17.0mmのリウキュウアユ*Plecoglossus altivelis ryukyuensis*仔魚を用いて塩分別（0, 5, 15および30PSU）の絶食飼育試験を行ったところ、低水温でも高水温でも、いずれも5または15PSUの汽水で飼育した群が最も生残率が高かったと報告している。

今回、4つの塩分の飼育水槽を4群用い、シオミズツボワムシを給餌して行った、低水温時（13~16°C）と高水温時（20~24°C）の2回の飼育試験においても、伊藤ら（1971）、田端・東（1986）および岸野ら（2008）が行った絶食での飼育試験結果と同様に、各飼育群の生残率は高水温時だけでなく低水温時においても、低水温時の1/4海水飼育群を除き、いずれの汽水群飼育群（3/4, 1/2および1/4海水飼育群）も海水飼育群よりも有意に高かった。また、低水温時の海水飼育群の生残率は汽水飼育群の90.4~98.1%であったに対して、高水温時では24.0~53.7%とさらに低くなったことから、アユ仔魚は汽水よりも海水で飼育した方が生残率は低くなり、それは高水温ほど顕著になるものと考えられる。

なお、本研究では低水温時も高水温時も汽水群の中では1/2海水（16PSU）飼育群が最も生残率が高かった。これも高水温ほど淡水や海水の生残率が低くなったとする伊藤ら（1971）の結果と同様な傾向を示した。しかし、22.5°Cと25°Cでは14PSU飼育群ではなく、7PSU飼育群が最も生残日数が長かったとする田端・東（1986）や18°Cでは15PSU飼育群よりも5PSU飼育群の方が生残率が高かったとする岸野ら（2008）の結果とは少し異なった。今回の試験では各飼育群には十分なシオミズツボワムシを与えた。しかし、低水温時の1/4海水飼育群と海水飼育群の生残率に有意な差が認められなかったことを含めて、絶食での試験とは異なり、餌であるシオミズツボワムシにも好む水温や塩分があり（小磯 2000）、シオミズツボワムシの活性が仔魚の生残に影響を及ぼしたものと推測される。

海水飼育群と汽水飼育群では生息密度（生残尾数）に大きな差が認められなかった低水温時に飼育した仔魚の体長を比べた結果では、いずれの汽水飼育群（塩分8, 16および24PSU群）も、仔魚の体長は最も生息密度が低かった海水飼育群（32PSU）よりも有意に大きかった（Fig. 2）。このことから、アユ仔魚は海水よりも汽水で飼育した方が成長は良くなるものと推測される。

魚類をはじめとする脊椎動物の体液電解質濃度は、海産のメクラウナギ類が海水とほぼ等しいことを除き、生息環境に関わりなく海水の1/4~1/2に保たれている（小笠原 1987, 金子 2002）。

今回の試験で、海水飼育群に比べて汽水飼育群の方が生残率や成長が良かったのは、海水に比べ汽水の方がアユ仔魚が浸透圧調節に使用するエネルギーが少なくすむためと考えられる。加えて、実際の河川水が注ぐ河口海域表層の汽水域では、アユ仔魚が降海・成育する10～12月には海域に比べて水温が低く、餌である動物プランクトンの橈脚類も多いので(柳 1988, 宇野木 2005),アユ仔魚は海水域よりも汽水域に生息した方が生残率も成長も良くなるものと推定される。

和歌山県日高川とその河口周辺海域で行なわれた調査結果では、10月の降水量が多いほど、また、10月における最大日水量が多いほど、翌年のアユの河川回帰率が高い傾向がみられている。このことから、原田ら(2008)は10月の降水量と海域でのアユの生残率には密接な関係があり、10月の降水量の多寡が翌年の遡上数を決める大きな要因だとしている。河川からの出水により海域には多量の栄養塩類が供給されるとともに、表層の汽水域が拡大する。多量の栄養塩類の供給により植物プランクトンのブルームが起り、続いてアユ仔魚の餌である動物プランクトンが増殖する(柳 1988, 宇野木 2005)。本研究結果からも、汽水域の拡大はアユ仔魚の生息域の拡大につながるとともに、仔魚の生残率も成長も良くなることが示唆され、原田ら(2008)の説が支持される。

謝 辞

本論文を取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中央水産研究所内水面研究部の井口恵一朗博士、和歌山県農林水産総合技術センターの原田慈雄博士および豊田市矢作川研究所の山本敏哉博士の査読並びにご助言をいただいた。本研究に用いたアユの発眼卵は、富山漁業協同組合から提供を受けた。本研究の一部は農林水産高度化研究(農林水産省技術会議)によった。ここに心を込めて感謝の意を表する。

文 献

- 原田慈雄・池脇義弘・石田鉄平・藤井久之・加藤邦彰 2008. 紀伊水道域のアユの生態特性. p. 342, 2008年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 日本水産学会.
- 伊藤 隆・鈴木良治 1965. アユ種苗の人工生産に関する研究-X, 人工孵化仔魚の初期生残に対する日光照度の影響. pp. 915-942, 木曾三川河口資源調査報告2.
- 伊藤 隆・富田達也・岩井寿夫 1971. アユ種苗の人工生産に関する研究-LXXIV. 人工ふ化仔魚の絶食生残に対する塩分濃度および水温の影響. アユの人工養殖研究1 143-163.
- 金子豊二 2002. 浸透圧調節・回遊 pp. 215-232, 魚類生理学の基礎(会田勝美 編); 恒星社厚生閣, 東京.
- 岸野 底・四宮明彦 2005. 奄美大島住用湾および焼内湾周辺におけるリュウキュウアユ仔稚魚の回帰遡上. 魚類学雑誌 52(2):115-124.
- 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実験. 魚類学雑誌 55(1):1-8.
- 小磯雅彦 2000. 海産ワムシ類の培養ガイドブック, 4-1 水温, 4-2 塩分濃度. pp. 12-16, 栽培漁

業技術シリーズ 6. (社)日本栽培漁業協会.

- 小笠原 強 1987. ホルモンと浸透圧調節 pp. 12-25, 回遊魚の生物学 (森沢正昭・会田勝美・平野哲也編). 学会出版センター, 東京.
- 小山長雄 1978. アユの生態. 中央公論社. 東京, 176pp.
- 中田英昭 1991. 仔稚魚の輸送・生残・加入にかかわる沿岸海洋過程. 沿岸海洋研究ノート 28(2): 195-220.
- 田端和男・東 幹夫 1986. 海産, 湖産系および湖産アユ仔魚の海水飼育における生残特性. 兵庫水試研報 24:29-34.
- 田子泰彦 2002. 富山湾の河口域およびその隣接海域表層におけるアユ仔魚の出現・分布. 日本水産学会誌 68(1):61-71.
- 田子泰彦 2008. 湖産アユと対比した海産アユ仔稚魚の生態特性 pp. 160-166, 稚魚学. 生物研究社.
- 高橋勇夫・木下 泉・東 健作・藤田真二・田中 克 1990. 四万十川河口内に出現するアユ仔魚. 日本水産学会誌 56(6):871-878.
- Takahashi I., K. Azuma, S. Fujita and I. Kinoshita 1998. Spatial distribution of larval ayu *Plecoglossus altivelis* in the Shimanto estuary, Japan. *Fisheries Sci.* 64(4): 522-525.
- 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 25(2):47-57.
- 宇野木早苗 2005. 川が養う海水と生命 pp. 34-42, 河川事業は海をどう変えたか. 生物研究社, 東京.
- 柳 哲雄 1988. 海の科学. 恒星社厚生閣. 東京, 117pp.
- 八木佑太・美藤千穂・舟越 徹・木下 泉・高橋勇夫 2006. 土佐湾沿岸域におけるアユ仔魚の分布および食性. 日本水産学会誌 72(6):1057-1067.
- 吉本 洋・藤井久之・中西 一 2006. 日高川河口域におけるアユ仔魚の出現. 日本水産増殖学会誌 54(4):543-551.