

アユの有用形質の遺伝性検出評価に関する研究—Ⅳ

辻村 明夫, 藤井 久之

アユ養殖に用いられる種苗は, その大半が天然産であるためにこれまで育種学的検討はほとんどなされていない。養殖期間が短いアユでは, 生産の効率化のために成長優良系の作出は重要である。また, 近年の消費形態の多様化により, 天然に近い体型系あるいは体高の高い体型系(子持ちアユ)等の作出が望まれている。これに対処するため, アユの成長および体型に関する育種学的検討を行い, 優良品種の固定化を図る必要がある。

このため, 選抜等を用いた育種実験による作出集団について, 成長および体型に関する特性評価を行うとともにその遺伝性を検討し, 遺伝特性に基づいた育種素材の作出技術の開発を行う。

1. 成長に関する遺伝特性の解明

これまで実施してきたアユを対象とした育種学的検討において, 体重と全長により選抜された大方向選抜群(以下大方向群とする), 小方向選抜群(以下小方向群とする)および無選抜群の成長は, 一代目, 二代目とも群間に差が認められ, 成長における遺伝的関与が推定された。^{2,3)} 本年度も成長に関する選抜効果をさらに検討するため, 三代目選抜群を用いて前年度と同様な試験を実施した。また, 成長に関する交雑育種法の有効性について, 亜種関係にある海産アユとリュウキュウアユおよびその交雑種を用い検討した。

実 験 方 法

1) 成長に関する選抜試験 供試魚は二代目から切断型選抜で作出した三代目の3群で, 実用規模と実験規模の試験を行った。

実用規模の試験は, 種苗生産魚から無作為に抽出した3,000尾ずつを用いた。開始時の平均体重は, 大方向群 5.78 ± 1.09 g, 小方向群 5.13 ± 1.29 g, 無選抜群 5.25 ± 1.42 gで, 大方向群と他群には差がみられた($p < 0.01$ t検定)。識別のため大方向群は脂鱗, 無選抜群は腹鱗を切除し, 3群を 100m^2 ($10 \times 10 \times 0.7\text{m}$)の飼育池で1995年6月16日から9月8日までの85日間混合飼育した。

実験規模の試験は混合飼育と分離飼育とし, 開始時の平均体重は群間で差がないように調整した。混合飼育は3群の他にクローンWA 1も用い, 80尾ずつをピットタグで標識し, 10m^2 ($2 \times 5 \times 0.35\text{m}$)の飼育池で6月30日から8月24日までの56日間(I, II期とも28日間)行った。また, 分離飼育は大・小各方向群を50尾ずつ用い, 1, 2, 4, 6%の給餌率で7月20日から8月14日までの26日間, 2m^2 ($1 \times 2 \times 0.35\text{m}$)の池で飼育した。

2) 成長に関する交雑試験 供試魚は海産アユ, リュウキュウアユ, 両者の交雑種である海産♀ \times リュウキュウ♂(F_1), F_1 ♀ \times F_1 ♂(F_2)および F_1 ♀ \times 海産♂(戻し交雑)を用いた。

(1) 成長 開始時の平均体重を群間で差がないように調整した各60尾をピットタグで標識し,

10m²(2×5×0.35m) の飼育池で7月14日から10月21日までの100日間混合飼育した。中間測定は29日目と61日目に行った。

(2) 成熟 自然日長下で飼育していた平均体重4.1~5.2gの各群を400ずつ用い、6月19日に30m²(3×10×0.7m)の屋外池に放養した。生殖腺指数(生殖腺重量/体重×100)は7月28日、8月17日、9月19日および10月2日に雌雄5~12尾について調べた。また、成長試験魚についても終了時に同様に雌雄20~35尾を調べた。

結果および考察

1) 成長に関する選抜試験 (1) 実用規模 体重の推移を図1に示した。平均体重は28日目において大方向群18.3g、無選抜群13.5gおよび小方向群10.9gと差がみられた。以後、いずれの測定回においても大方向群が最も大きく、次いで無選抜群、小方向群の順となり、各群の差は常に有意であった(p<0.01)。試験終了時に各群300尾についてみた体重組成を図2に示した。平均体重は大方向群87.6g、小方向群29.9g、無選抜群59.0gで、無選抜群に対する体重比は大方向群で1.48、小方向群で0.51となり、較差は小方向群で大きかった。また、無選抜群の平均体重に近い60gを基準にして大・小各群について割合をみると、大方向群ではそれ以下のものは0.7%、小方向群ではそれ以上のものは1%と両者の重なりは小さかった。

(2) 実験規模 混合飼育における増重量と日間成長率を表1に示した。無選抜群と比較すると、両項目はI・II期とも大方向群が優れ、小方向とクローンWA1は劣った(p<0.01)。無選抜群に対する増重量比は、大方向群では1.31倍と二代目(1.30)と同様の値³⁾を示したが、小方向群では0.56となり二代目(0.72)よりさらに小さくなった。また、小方向群とクローンWA1の比較では、小方向群のI~II期増重量と日間成長率は18.0g、2.25%/日であるのに対し、

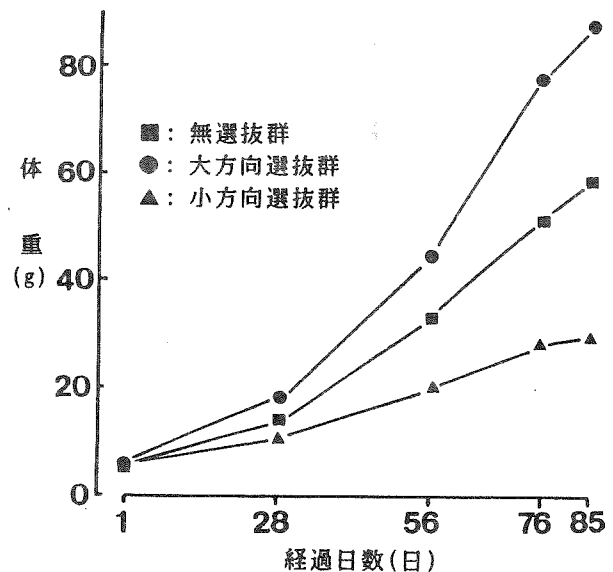


図1 実用規模における選抜群の体重の推移

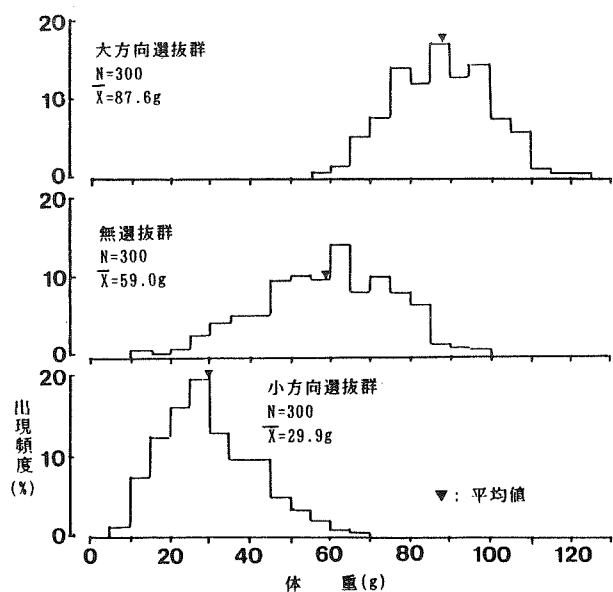


図2 実用規模における試験終了時の選抜群の体重組成

表1 実験規模の混合飼育における選抜群の増重量と日間成長率

項 目	無選抜 N=79	大方向選抜 N=79	小方向選抜 N=79	クローンWA1 N=76
開始時体重 (g)	6.97±0.30	7.00±0.28NS	6.97±0.31NS	6.96±0.30NS
I 期 増 重 量 (g)	13.10±2.06	16.31±1.96*	7.75±1.48*	11.39±1.02*
II 期 増 重 量 (g)	19.20±4.79	25.97±4.09*	10.26±3.64*	14.58±2.16*
I ~ II 期 増 重 量 (g)	32.30±6.28	42.28±5.35*	18.01±4.71*	25.97±2.89*
I 期 日 間 成 長 率 (%/日)	3.76±0.35	4.29±0.30*	2.65±0.35*	3.46±0.19*
II 期 日 間 成 長 率 (%/日)	2.37±0.38	2.67±0.26*	1.85±0.43*	2.08±0.20*
I ~ II 期 日 間 成 長 率 (%/日)	3.06±0.30	3.48±0.19*	2.25±0.32*	2.77±0.15*

無選抜群との有意差検定* : $p < 0.01$ NS : 有意差なし

クローンWA1では26.0 g, 2.77%/日となり, 小方向群の成長は劣った ($p < 0.01$)。小方向群とクローンWA1の成長を世代別にみると, 一代目では小方向群が優れ, 二代目では差がなく, 三代目では逆にクローンWA1が優れ, 世代間で変化がみられた^{2,3)}。I~II期増重量における変動係数の世代間の推移を図3に示した。変動係数は小方向群が最も大きく, 次いで無選抜群となり, 大方向群とクローンWA1は低い値を示した。世代間の変化は大方向群と無選抜群では小さく, 小方向群は増加する傾向を示した。なお, 9月28, 29日に各12尾について測定した血液性状を表2に示した。血液性状は群間に違いはみられなかったが, 変動係数ではクローンWA1は各選抜群に比べやや小さくなる傾向を示した。

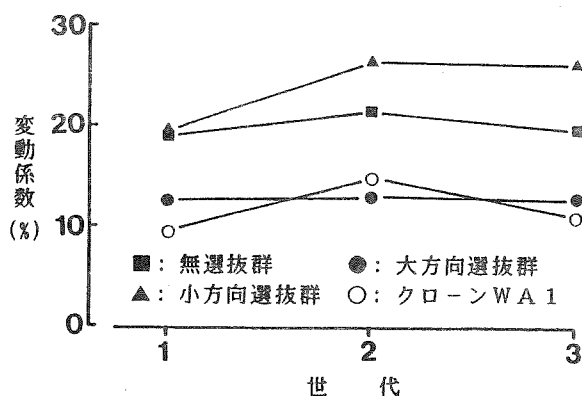


図3 実験規模の混合飼育におけるI~II期増重量の変動係数の推移

表2 実験規模の混合飼育における選抜群の血液性状

項目	無選抜 a ^{*1}	大方向選抜 b	小方向選抜 c	クローンWA1 d
体長 (cm)	15.7±1.1 ^{bc} (7.0) ^{*2}	18.1±0.6 ^{acd} (3.3)	13.8±0.7 ^{abd} (5.1)	16.1±0.3 ^{bc} (1.9)
体重 (g)	56.4±13.1 ^{bc} (23.2)	86.5±5.9 ^{acd} (6.8)	36.1±8.1 ^{abd} (22.4)	49.0±2.8 ^{bc} (5.7)
生殖腺指数 (%)	11.6±2.9 (25.0)	11.7±3.8 (32.5)	12.9±7.6 (58.9)	11.2±1.0 (8.9)
ヘマトクリット値 (%)	55.0±7.2 ^d (13.1)	50.1±6.0 (12.0)	51.0±5.1 (10.0)	47.6±3.8 ^a (8.0)
ヘモグロビン含量 (g/dl)	9.8±0.9 ^d (9.2)	9.9±1.0 ^d (10.1)	9.7±0.7 ^d (7.2)	10.9±0.7 ^{abc} (6.4)
総蛋白質含量 (g/dl)	5.6±0.5 (8.9)	6.0±0.4 (6.7)	5.5±0.7 (12.7)	5.7±0.4 (7.0)
グルコース含量 (mg/dl)	89.8±32.2 (35.9)	77.4±13.9 (18.0)	79.3±16.6 (20.9)	79.3±12.9 (16.3)
トリグリセライド含量 (mg/dl)	284±133 (46.8)	283±101 (35.7)	248±96 (38.7)	357±72 (20.1)
ALK (U/l)	31.6±9.1 ^d (28.8)	34.4±7.3 ^d (21.2)	37.9±9.0 ^d (23.7)	19.6±2.7 ^{abc} (13.8)
GPT (U/l)	185±57 (30.8)	170±24 (14.1)	203±49 (24.1)	202±26 (12.9)

*1 アルファベットは各選抜群に対応し、上つきのアルファベットは1%の危険率で有意と判定された群を示す。

*2 変動係数 (%)

分離飼育の結果を表3に、終了時の体重と飼料効率を図4に示した。26日間飼育後の体重は各給餌率区とも大方向群と小方向群との間に差がみられ、給餌率が高くなるに従ってその差は開き、6%給餌区の体重は大方向群19.8g、小方向群14.0gとなりその比は1.41倍となった。小方向群の体重は、4%区で13.7g、6%区で14.0gとほとんど変わらず、4%で飽食給餌になっていることが同

表3 実験規模の分離飼育における大方向および小方向選抜群の成長比較

給餌率 (%)		開始時平均体重 (g)	終了時平均体重 (g)	給餌量 (g)	飼料効果 (%)
1	大方向	7.62±0.40	8.99±0.54	88.2	67.6
	小方向	7.60±0.40	8.42±0.56	88.2	46.2
		NS	**		
2	大方向	7.58±0.41	10.62±0.65	187.2	81.1
	小方向	7.60±0.42	10.26±0.75	187.2	70.9
		NS	*		
4	大方向	7.60±0.42	15.78±0.97	419.0	97.6
	小方向	7.62±0.43	13.65±1.59	419.0	71.9
		NS	**		
6	大方向	7.63±0.39	19.80±1.69	698.7	87.1
	小方向	7.59±0.42	14.00±1.46	698.7	45.8
		NS	**		

NS: 有意差なし, *: p < 0.05, **: p < 0.01

えた。一方、大方向群の体重は6%区まで直線的に増加し、摂餌状態から6%程度が飽食量と考えられ、両群の摂餌量に違いがみられた。飼料効率はいずれの給餌率区においても大方向群と小方向群との間に差がみられ、その差は4%区で25.7%、6%区で41.3%であった。

このように、選抜三代目の大方向群と小方向群の成長は、実用規模・実験規模とも無選抜群に比べると、有意に大方向群で優れ小方向群で劣り、大小方向に明かな成長差が認められた。しかし、選抜効果は小方向群で明確であったのに対し、大方向群では減退方向にあることが示唆された。また、大・小方向の成長差は摂餌量と飼料効率の違いによるものと考えられ、今後はこれらの違いがどのような生理特性により生じるか検討する必要がある。

2) 成長に関する交雑試験 (1) 成長
海産アユ、リュウキュウアユとその交雑種の体重の推移を図5に示した。61日目までの体重は海産>戻し交雑>交雑一代目>交雑二代目>リュウキュウアユの順となり ($p < 0.01$)、成長は海産系に近いほど優れる傾向を示した。交雑一代目の体重は29日目17.5g、61日目41.3gであり、海産アユとリュウキュウアユの中間値(29日目17.7g、61日目40.7g)とほぼ一致した。9月12日(61日目)における体重の分布を図6に示した。変動係数は海産10.4%、戻し交雑12.6%、交雑一代目12.4%、交雑二代目23.0%およびリュウキュウアユ15.0%となり交雑二代目の変異が大きく、この傾向は開始時を除き認められた。しかし、交雑二代目の成長は悪く、9月12日の最大個体(50.2g)でも海産の平均値59.2gに及ばなかつ

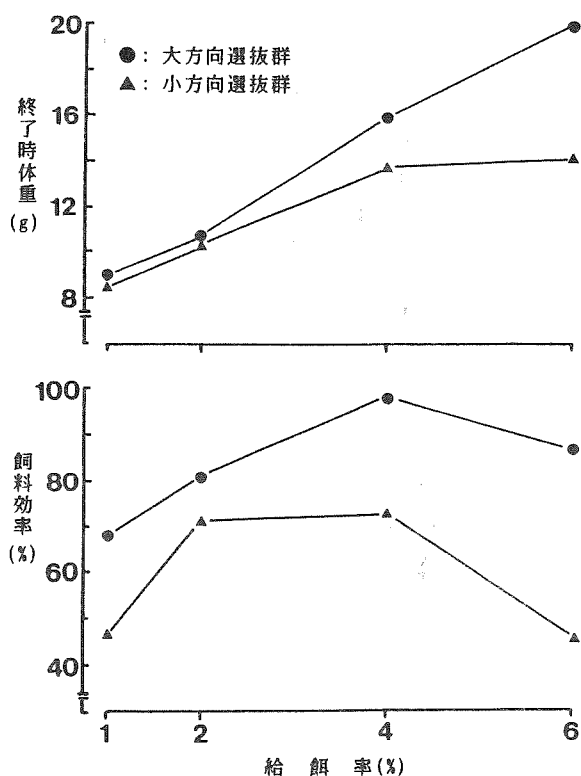


図4 実験規模の分離飼育における大方向および小方向選抜群の成長比較

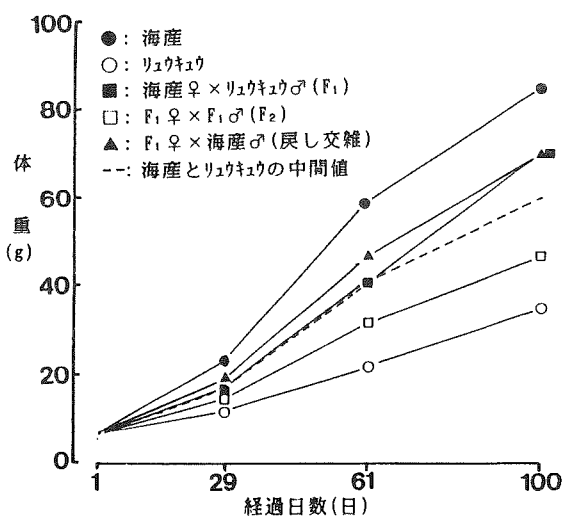


図5 海産アユ、リュウキュウとその交雑種の体重の推移

た。交雑一代目の体重が9月上旬まで海産とリュウキュウの中間値に一致したこと、また、交雑二代目では変異が拡大したことから、海産アユとリュウキュウアユの成長性の差異は遺伝的に固定されたものと考えられる。

(2) 成熟 自然日長下における生殖腺指数の変化を図7に示した。生殖腺指数は海産アユでは8月中旬、リュウキュウアユでは10月上旬から増加し、両者の成熟過程に明かな違いがみられた。成熟の進行は海産に近い系統ほど早かったが、交雑一代目の雄では前年と同様9月以降の生殖腺指数の増加はみられなかった。次に、成長試験における終了時の生殖腺指数の分布を図8に示した。

生殖腺指数の分布は交雑二代目では雌雄とも広い範囲にあり、変異の拡大が認められたことから成熟過程における系統間の遺伝的差が推定される。

高成長で晩熟系のアユを作出するためには、交雑二代目で遺伝的変異を拡大させ、その中から優良な親魚を選抜する方法が有効と考えられる。今回、交雑二代目の成長と成熟に変異の拡大がみられたが、成長は悪く最大個体でも海産アユの平均値に及ばなかった。これまでの結果から、海産アユとリュウキュウアユの間には交雑時にみられる正常ふ化率の低下等遺伝的な生殖隔離が考えられることから、両者の交雑による優良品種の作出は困難と考えられる。

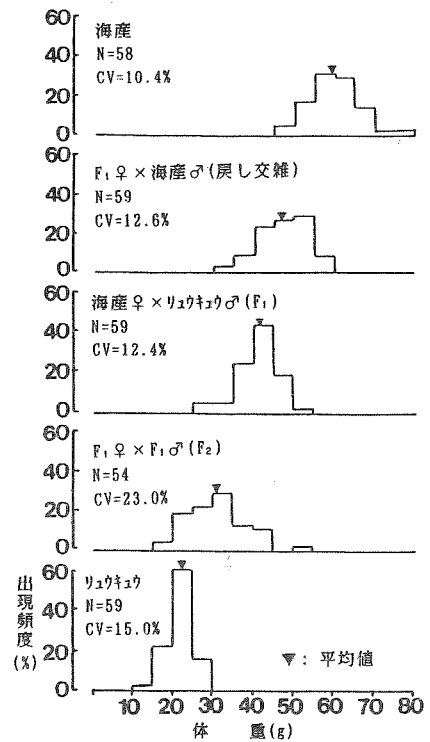


図6 海産アユ,リュウキュウアユとその交雑種の体重分布 ('95.9.12)

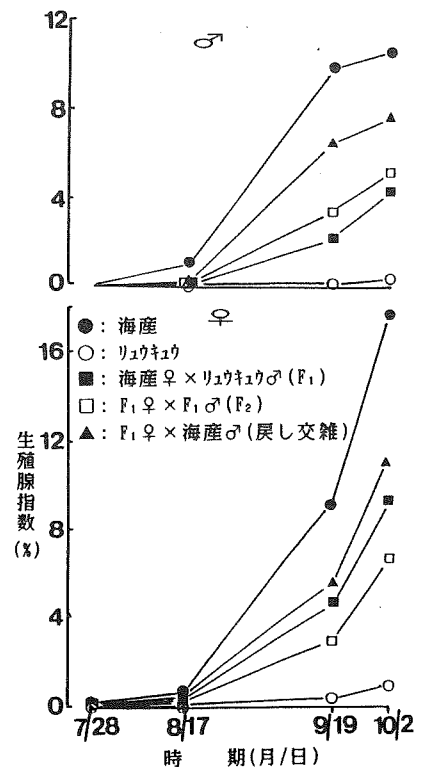


図7 自然日長下における生殖腺指数の変化

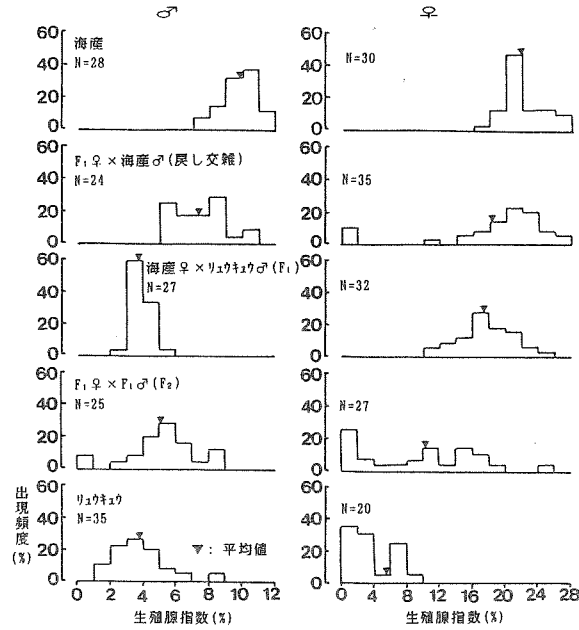


図8 成長試験終了時の生殖腺指数の分布

2. 体型に関する遺伝特性の解明

これまでの天然魚と養殖魚についての調査から、アユの体型は体軸方向より体の上下方向や幅の変異が大きいこと^{1, 2)}、また、クローン間で体型に差がみられ同一クローン内の変異が小さいことから、これら体型の差は遺伝的なものであることが推定された³⁾。そこで、体高における選抜効果を検討するため、産卵期に体高の高いものおよび低いもの同士からそれぞれ2系統の兄弟群を作出し体高の比較を行った。

実験方法

選抜二代目大方向群の中から体高の高い親魚と低い親魚を選抜し、体高の高いもの同士および低いもの同士の1:1交配により、それぞれ2群の兄弟群を作出した。用いた親魚の体長に対する体高の比率(以下体高比%とする)は、雌26.5%、雄24.0%(体高の高い親魚から作出した兄弟群-1, 以下高-1とする)、雌27.4%、雄23.6%(同兄弟群-2, 以下高-2とする)、雌20.2%、雄18.4%(体高の低い親魚から作出した兄弟群-1, 以下低-1とする)および雌20.1%、雄18.3%(同兄弟群-2, 以下低-2とする)であった。これら各群の体高比を5月10日、7月3日、8月2日に各30尾について、8月25日に各40尾について調べた。5月10日と7月3日は飼育環境を同一化した2m²(1×2×0.35m)と10m²(2×5×0.35m)で分離飼育中のものを、8月2日、25日は30m²(3×10×0.7m)で7月4日から無選抜群を含む混合飼育中のものを用いた。

また、開始時の体重を同一にした場合の体長と体重の変化をみるため、平均体重6gの各兄弟群とクローンWA1を60尾ずつ用い、ピットタグで標識し、10m²(2×5×0.35m)の飼育池で7月7日から10月6日までの92日間(I期:28日間、II期:28日間、III期:36日間)混合飼育した。

結果および考察

各兄弟群の体長と体高比の推移を図9に示した。5月10日の体長は約6cmであり、低-1が高-1の体高比を上まわり、各兄弟群の体高比に一定の傾向はみられなかった。8月2日の各群の体長は9.5~10.3cmであった。その体高比は低-1で19.3%，低-2で18.5%であり、高-1，2で20.7%，また、無選抜群で19.7%となった。このように10cm以降は体高の高い親魚から作出した兄弟群と低い親魚から作出した兄弟群の間には明かな体高比の違いがみられ、無選抜群は中間的な値を示した。

また、開始時の平均体重を同一にした場合の各兄弟群の成長経過を表4に示した。低

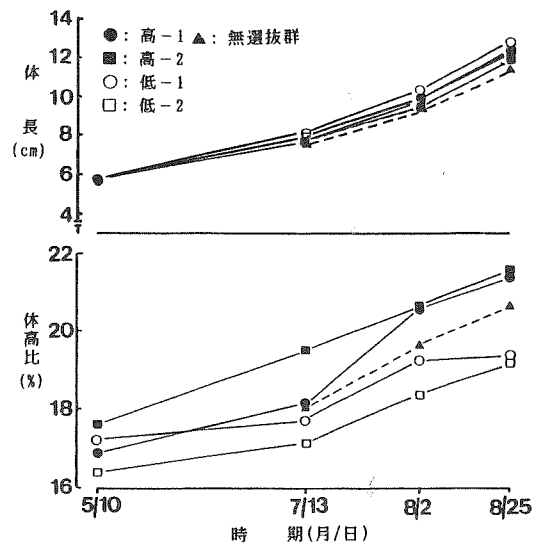


図9 体高の異なる親魚から作出した体長と体高比の推移

表4 体高の異なる親魚から作出した兄弟群の成長経過

項目	高-1 a*1	高-2 b	低-1 c	低-2 d	クローンWA1
体重(g)					
開始時	6.0±0.3	6.0±0.3	6.0±0.3	6.0±0.3	6.0±0.3
I 期	20.5±1.3 ^{bcd}	19.6±1.6 ^{ad}	19.8±1.3 ^{abd}	19.0±1.6 ^{abc}	14.8±1.0
II 期	44.4±5.1 ^d	42.8±5.4 ^d	42.6±5.0 ^d	37.4±7.2 ^{abc}	27.4±2.1
III 期	76.3±7.7 ^{cd}	79.0±8.4 ^{cd}	72.1±7.3 ^{abd}	67.5±9.1 ^{abc}	44.0±3.6
体長(cm)					
開始時	8.2±0.2 ^{bcd}	8.0±1.2 ^{acd}	8.4±0.2 ^{ab}	8.5±0.2 ^{ab}	8.3±0.1
I 期	11.2±0.3 ^{bcd}	10.9±0.3 ^{acd}	11.7±0.3 ^{ab}	11.6±0.4 ^{ab}	10.6±0.2
II 期	14.2±0.5 ^c	14.0±0.6 ^c	15.0±0.7 ^{abd}	14.3±0.9 ^{bc}	13.1±0.3
III 期	16.7±0.6 ^{cd}	16.7±0.7 ^{cd}	17.8±0.7 ^{abd}	17.1±0.8 ^{abc}	15.2±0.4
体高(cm)					
I 期	2.45±0.10 ^{bcd}	2.40±0.08 ^{acd}	2.29±0.08 ^{abd}	2.24±0.09 ^{abc}	2.04±0.07
II 期	3.29±0.16 ^{cd}	3.18±0.15 ^{cd}	3.02±0.15 ^{ab}	2.91±0.22 ^{ab}	2.57±0.09
III 期	3.96±0.21 ^{cd}	3.97±0.19 ^{cd}	3.66±0.14 ^{abd}	3.57±0.20 ^{abc}	3.05±0.12
体高比(%)					
I 期	21.9±0.8 ^{cd}	22.0±0.7 ^{cd}	19.6±0.6 ^{abd}	19.3±0.6 ^{abc}	19.3±0.6
II 期	23.2±0.8 ^{bcd}	22.9±0.9 ^{acd}	20.2±0.7 ^{ab}	20.4±0.6 ^{ab}	19.6±0.4
III 期	23.7±1.2 ^{cd}	23.8±1.0 ^{cd}	20.6±0.7 ^{ab}	20.9±0.7 ^{ab}	20.1±0.6

高-1，高-2；体高の高い親魚から作出した兄弟群

低-1，低-2；体高の低い親魚から作出した兄弟群

*1 アルファベットは各兄弟群に対応し、上つきのアルファベットは1%の危険率で有意と判定された群を示す。

－2の体重は他の兄弟群に比べ劣り、低－1はⅡ期までは体高の高い兄弟群と差はみられなかったがⅢ期では劣った。このことから、体高の低い体型は体重増加に関して不利と考えられた。また、体長と体高の変化をみると、体高の高い親魚から作出した兄弟群は低い親魚から作出した兄弟群に比べ、体長は小さく体高が高い傾向にあった。

Ⅱ期終了時の体高比の組成を図10に示した。クローンWA1に比べ、兄弟群の変異は大きく、高－2では体高の低い個体もみられた。

これらのことから、体高について選抜効果があり、選抜は体長10cm以上で行う必要のあることが解かった。また、兄弟群内においてもかなりの変異があることから再選抜の効果を検討する必要がある。

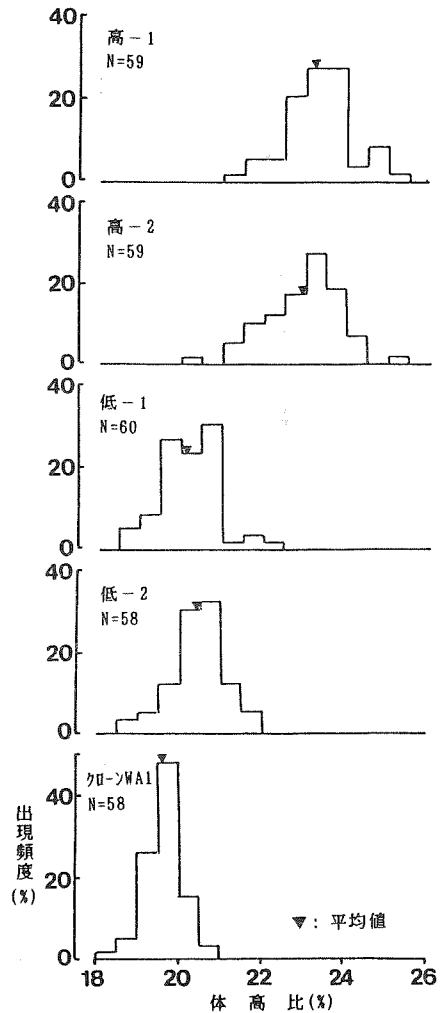


図10 体高の異なる親魚から作出した兄弟群の体高比の組成

文 献

- 1) 辻村明夫, 宇野悦央: アユの有用形質の遺伝性検出評価に関する研究－Ⅰ. 和歌山県内水面漁業センター事業報告, **18**, 21-26 (1994).
- 2) 辻村明夫, 藤井久之, 宇野悦央: アユの有用形質の遺伝性検出評価に関する研究－Ⅱ. 和歌山県内水面漁業センター事業報告, **19**, 11-23 (1995).
- 3) 辻村明夫, 藤井久之, 宇野悦央: アユの有用形質の遺伝性検出評価に関する研究－Ⅲ. 和歌山県内水面漁業センター事業報告, **20**, 1-12 (1996).