

アユの有用形質の遺伝性検出評価に関する研究(H 4～8年度)

辻村 明夫・藤村 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。養殖期間の短いアユでは、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、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。

I 成長に関する遺伝特性の解明

本県地先海面で採捕された海産アユを基礎集団とし、体重により大・小方向への切断型選抜を行い、選択反応を検討するとともに人工種苗トビ群およびクローン魚の成長特性を調べた。また、成長に関する交雑育種法の有効性を検討するため、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の性成熟過程と成長を調査した。

実験方法

1. 成長に関する選抜試験

基礎集団として1992年3月に本県地先海面で採捕された海産アユ10,000尾を用い、体重による切断型選抜を大方向4世代、小方向3世代にわたって行うとともに対照として無選抜群も作出した。選抜の経過を図1に示した。親魚の選抜は8月下旬～9月上旬に行い、その選抜割合は大方向群で雌3～23%、雄3～19%であり、小方向群で雌23～30%、雄15～35%であった。交配は両方向とも選抜1、2代目では雌雄1:1、以降は雌3～4尾に対し雄2～4尾として行った。選抜群間の成長を調べるため、毎世代4～7gの大方向群、小方向群および無選抜群を3,000尾ずつ用い、85～95日間の混合飼育を行った。

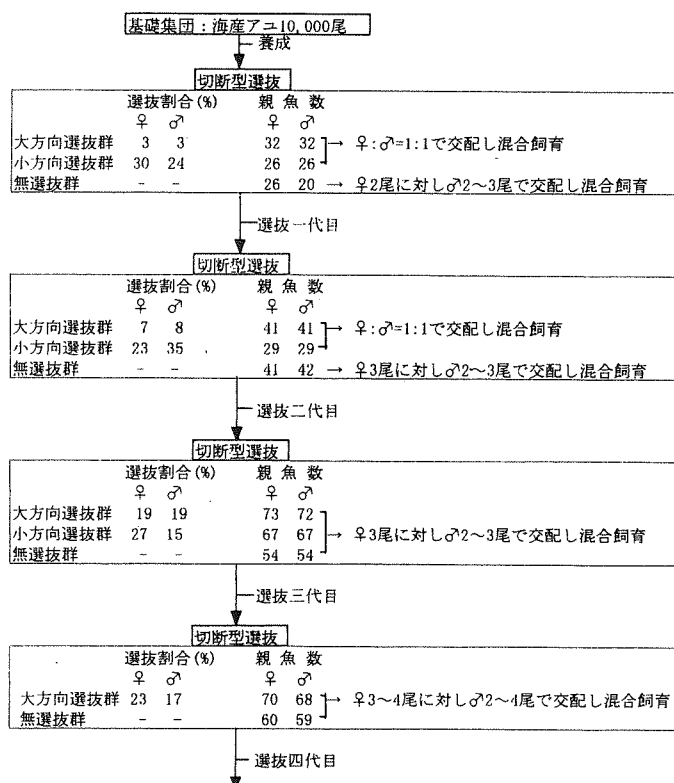


図1 選抜の経過

2. 成長に関する特性評価

1) 選抜試験で得られた各選抜群の成長評価

(1) 仔・稚魚期の成長 同一日に採卵媒精し、同一条件下でふ化させた選抜4代目の大方向群(ALCで耳石標識)と小方向群を混合飼育した。

(2) 稚魚期以降の成長 選抜1代目から3代目の間に、大方向群、小方向群、無選抜群およびクローンWA1を用い、毎世代ほぼ同一条件で混合飼育するとともに、給餌率を変えた分離飼育を実施した。また、選抜1代目の大方向群を用いて雄2尾と雌1尾の組み合わせによる3組(6群)の半兄弟群を作出し混合飼育を行った。天然種苗との比較のため、選抜4代目の大方向群、無選抜群および本県地先海面で採捕(1996年2月)された海産アユを用いて混合および分離飼育を実施した。

2) 人工種苗トビ群の成長評価 人工種苗トビ群は、1992年1月に生産中の海産初代人工種苗12,500尾(平均体重0.28g)の中から151尾(1~3g)を選別した。飼育後このうち雌34尾、雄58尾について、増重量の順位が高いもの(雌1位、雄2位、A群とする)と低いもの(雌28位、雄50位、B群とする)を選び1:1の交配を行った。この2群の種苗生産群の中から大型に属するもの(大型区)と小型に属するもの(小型区)をそれぞれ選び、クローンWA1も加え混合飼育を行った。また、給餌率を変えた分離飼育も実施した。

3) クローン魚の成長評価 2種類のホモ型クローン(クローンWA1、クローンWA2)とその交雑種である1種類のヘテロ型クローン(クローンWA1と同WA2の交配による)および無選抜群を用い、混合および分離飼育を行った。

3. 成長に関する交雑試験

供試魚として海産アユ、リュウキュウアユ、交雑1代目、2代目および戻し交雑種を用い、12.5Lと自然日長下における生殖腺指数と交雑による正常ふ化率を調査した。また、混合飼育による成長性を調べた。

結 果

1. 成長に関する選抜試験

親魚選抜時における各選抜集団と選抜親の平均値を表1に示した。集団の平均値は無選抜群では

表1 選抜時の体重

| 世 代 | 大方向群 | | 小方向群 | | 無選抜群 集団平均(g) |
|------------|---------|----------|---------|----------|-----------------|
| | 集団平均(g) | 選抜親平均(g) | 集団平均(g) | 選抜親平均(g) | |
| P | — | 91.2 | — | 34.7 | 63.2 |
| F1 (98日間*) | 52.2 | 68.5 | 32.8 | 22.4 | 39.0 |
| F2 (98日間) | 98.0 | 112.3 | 46.0 | 30.9 | 71.2 |
| F3 (85日間) | 87.6 | 106.2 | 29.9 | — | 59.0 |
| F4 (98日間) | 102.3 | — | — | — | 67.7 |

* 飼育期間

世代間で差がみられ、大・小方向にも漸増や漸減の一定した変化はみられなかった。これは世代間の飼育期間や飼育環境条件の違いによるものと考えられるので、無選抜群に対する選抜群の体重比を用いて選択反応の評価を行った。無選抜群の平均体重を1.0とした場合の選抜群の体重比を図2に、体重組成の変化を図3に示した。無選抜群に比べ、大方向群の体重は1代目で1.34倍、2代目で1.38倍、3代目で1.49倍、4代目で1.51倍となった。また、小方向群では1代目で0.84倍、2代目で0.65倍、3代目で0.51倍となった。大方向群は1代目の増加が大きく以後ゆるやかに変化したのに対し、小方向群は直線的に減少した。また、大方向群と小方向群の体重組成の重なりは世代が進むにつれ小さくなり、変異の幅は大方向群で小さくよくまとまって成長することが示された。無選抜群に対する体重の比率を用いて求めた大方向および小方向別の実現遺伝率を表2に、両方向から求めた実現遺伝率を表3に示した。大方向群では0→1, 2→3世代で0.5以上と高かったが、1→2, 3→4世代では0.1以下と低くバラツキを生じ平均は0.370であった。小方向群では0→1世代でやや低いものの以後高い値を示し平均は0.580であった。また、両方向から求めた平均値は0.677となった。

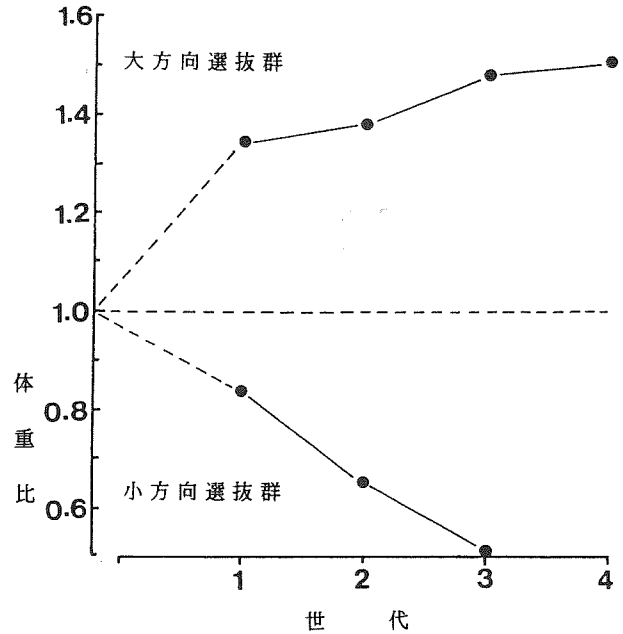


図2 無選抜群の平均体重を1.0とした場合の選抜群の体重比

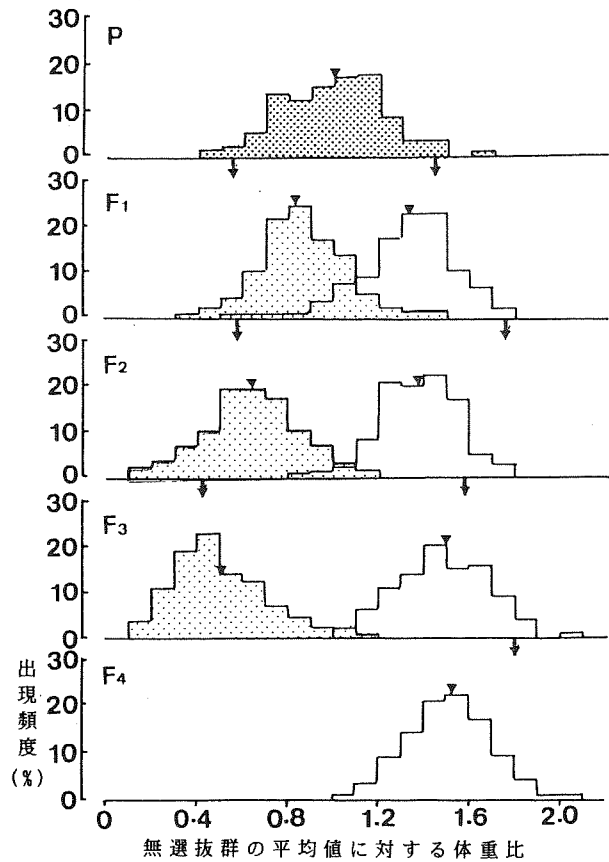


図3 無選抜群の体重組成の変化

▼ : 全体の平均値
↓ : 選抜親の平均値

表2 無選抜群に対する比率を用いた体重の実現遺伝率の推定

| 種類 | 世代 | M | μ | P1 | ΔS | R | 遺伝率 |
|-----|-----------|-------|-------|-------|------------|--------|-------|
| 大方向 | P→FL-1 | 1.000 | 1.443 | 1.338 | 0.443 | 0.338 | 0.763 |
| | FL-1→FL-2 | 1.338 | 1.756 | 1.376 | 0.418 | 0.038 | 0.091 |
| | FL-2→FL-3 | 1.376 | 1.577 | 1.485 | 0.201 | 0.109 | 0.542 |
| | FL-3→FL-4 | 1.485 | 1.800 | 1.511 | 0.315 | 0.026 | 0.083 |
| | 平均値 | — | — | — | — | — | 0.370 |
| 小方向 | P→FS-1 | 1.000 | 0.549 | 0.841 | -0.451 | -0.159 | 0.353 |
| | FS-1→FS-2 | 0.841 | 0.574 | 0.646 | -0.267 | -0.195 | 0.730 |
| | FS-2→FS-3 | 0.646 | 0.434 | 0.507 | -0.212 | -0.139 | 0.656 |
| | 平均値 | — | — | — | — | — | 0.580 |

M: 選抜される前の集団の平均, μ : 選抜した個体の平均, P1: 子の集団の平均
 $\Delta S = \mu - M$: 選択差, $R = P1 - M$: 遺伝獲得量, 遺伝率: $R / \Delta S$

表3 大・小の両方向から求めた体重の実現遺伝率

| 世代 | P→F-1 | F-1→F-2 | F-2→F-3 | 平均値 |
|-----|-------|---------|---------|-------|
| 遺伝率 | 0.556 | 0.618 | 0.856 | 0.677 |

2. 成長に関する特性評価

1) 選抜試験で得られた各選抜群の成長評価

(1) 仔・稚魚期の成長 全長と体重の推移を図4, 5に示した。全長は1粒の卵重が大方向群0.39mg, 小方向群0.40mgと小方向群で大きかったことを反映してふ化時に差がみられた。以後ふ化後40日目を除き, 大方向群で48.0mm, 小方向群で47.3mmとなる127日目まで両群に差はなかった。165日目以降は明らかに大方向群が大きく, 225日目で大方向群120mm, 小方向群102mmとなった。体重も全長と同様な傾向を示し, 225日目で大方向群11.6g, 小方向群7.8gであり, 大方向群は小方向群の約1.5倍となった。

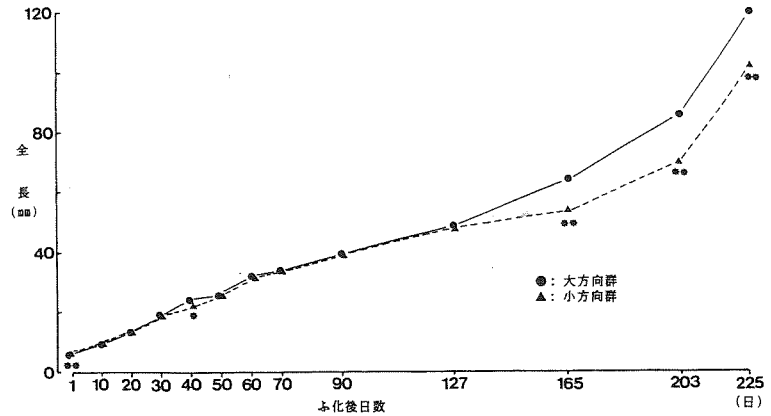


図4 大方向群と小方向群の全長の推移
* : $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

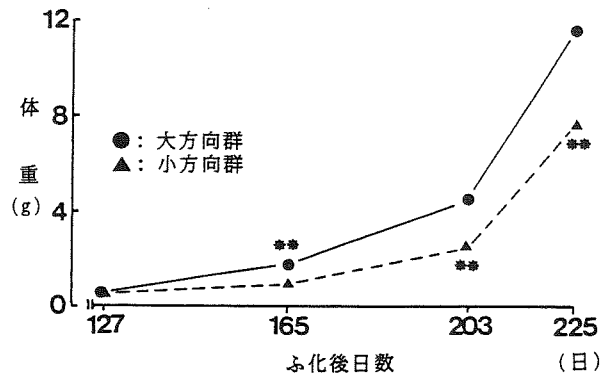


図5 大方向群と小方向群の体重の推移
** $P < 0.01$

(2) 稚魚期以降の成長 選抜1~3代目において各選抜群を80尾ずつ用い, 55~56日間混合飼育した後の無選抜群に対する増重量比を図6に, 増重量の変動係数を図7に示した。無選抜群に比べ, 大方向群の増重量は1代目で1.29倍と高くなったが以後横ばいで推移し, 小方向群は1代目で0.94倍となり3代目の0.56倍まで直線的に低下した。また, クローンは

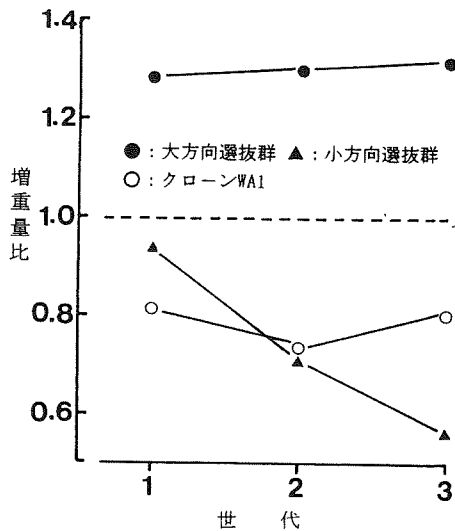


図6 無選抜群に対する選抜群の増重量比の推移

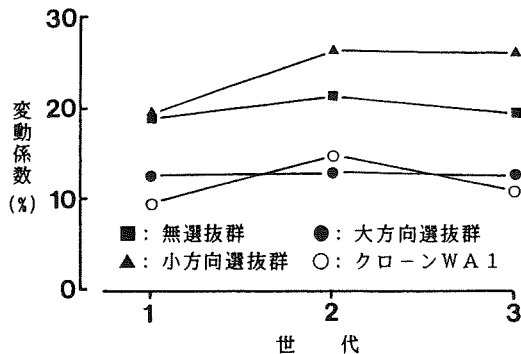


図7 増重量の変動係数の推移

0.72~0.81倍で推移した。増重量の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小さく、小方向群はやや増加する傾向を示した。

選抜3代目の平均体重7.6gの大方向群と小方向群を用い、給餌率を変えて飼育した場合の体重と飼料効率を図8に示した。26日間飼育後の体重は各給餌率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いその差は開き、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とほとんど変わらなかった。一方、大方向群は6%まで直線的に増加した。飼料効率はいずれの給餌率区で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。

選抜1代目の大方向群から作出した半兄弟群の体長および体重の平均値と変動係数を図9に示した。56日間飼育後の体長と体重の平均値は、無選抜群を用いた対照群では13.6cm、40.0gであったが、兄弟群では14.7~15.3cm、50.8~56.0gとなり、体長で1.1~1.7cm、体重で10.8~16.0g大きかった。変動係数は体長、体重とも兄弟群に比べ、複数親魚より作出した対照群で大きくなり体重で2倍程度となった。また、2種類のクローンの変動係数は兄弟群と大差がなかった。

天然種苗である海産アユとの比較のため、4代目大方向群を用い、内水面養殖管理指針における給餌率表の0.8、1.0、1.2倍の給餌率により飼育した結果を図10に示した。30日間飼育後の増重量は0.8倍区では大方向群と海産群には差がみられなかったが、

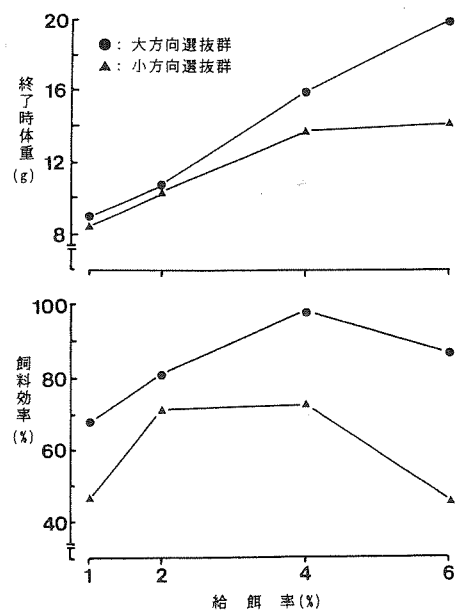


図8 給餌量を変えた場合の大方向、小方向群の体重と飼料効率

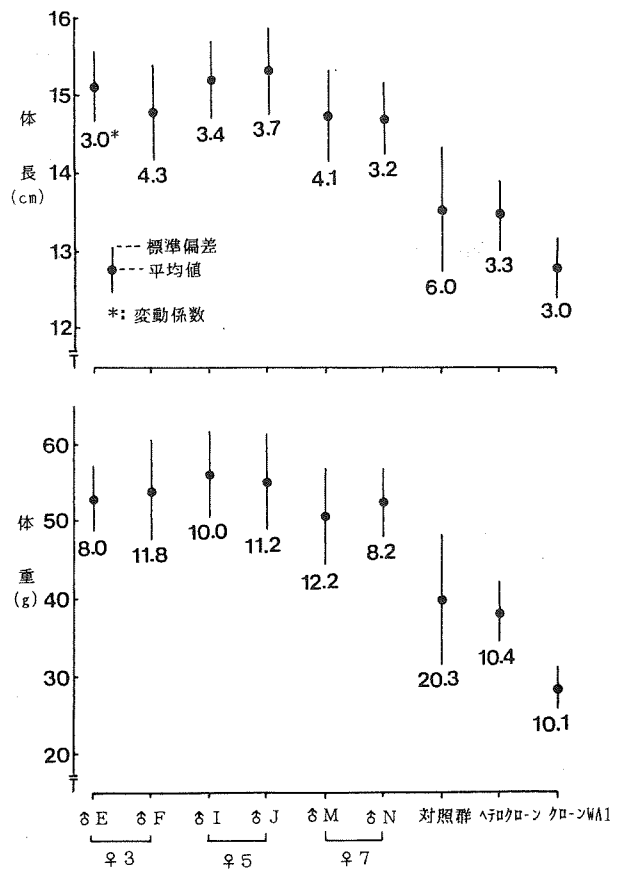


図9 半兄弟群の体長と体重の平均値と変動係数の比較

給餌量が増加するにつれ大方向群は無選抜群および海産群より明らかに成長が優れた。無選抜群と海産群における1.0倍区と1.2倍区の増重量の差は小さく、1.2倍区は成長の上限に近いものと考えられる。飼料効率は0.8倍区では大方向群と海産群で差はなかったが、1.0倍区と1.2倍区では大方向群が高く、次いで無選抜群、海産群の順となった。また、同じ目的で行った混合飼育の結果を表4、図11に示した。体重は大方向群で最も大きく、次いで無選抜群、海産群の順となった。全期増重量の無選抜群に対する大方向群の比率は1.35、海産群に対する大方向群の比率は1.53となった。終了時の増重量の変動係数は、大方向群で9.6%、無選抜群で20.2%、海産群で23.3%となり、大方向群はよくまとまって成長することが示された。

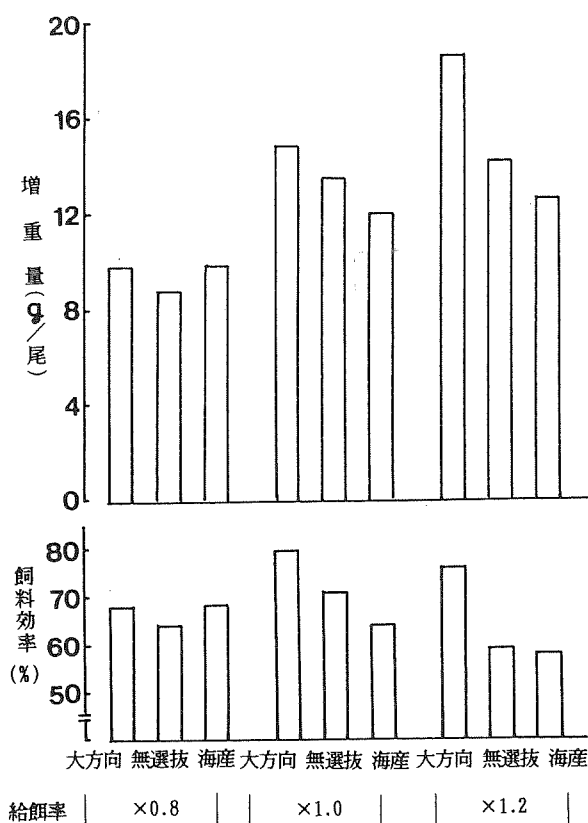


図10 給餌率を変えた場合の選抜群と海産群の増重量と飼料効率

表4 選抜群と海産群の混合飼育結果

| 項目 | 無選抜群 N=80 | 大方向群 N=80 | | 海産群 N=79 | |
|-----------------|--------------|--------------|----|-------------|----|
| 開始時体重(g) | 8.25±0.38 | 8.23±0.38 | NS | 8.19±0.38 | NS |
| I期増重量(g) | 12.53±2.22 | 16.15±1.43 | * | 11.26±1.94 | * |
| II期増重量(g) | 23.53±5.52 | 32.41±3.85 | * | 20.47±5.87 | * |
| I～II期増重量(g) | 36.06±7.30 | 48.56±4.67 | * | 31.73±7.39 | * |
| I期日間成長率(%/日) | 3.28±0.39 | 3.87±0.21 | * | 3.07±0.36 | * |
| II期日間成長率(%/日) | 2.77±0.38 | 3.13±0.23 | * | 2.62±0.42 | * |
| I～II期日間成長率(%/日) | 3.03±0.33 | 3.51±0.16 | * | 2.85±0.34 | * |

無選抜群との有意差検定 * : P < 0.01 NS : 有意差なし
55日間飼育 (I期 : 28日間, II期 : 27日間)

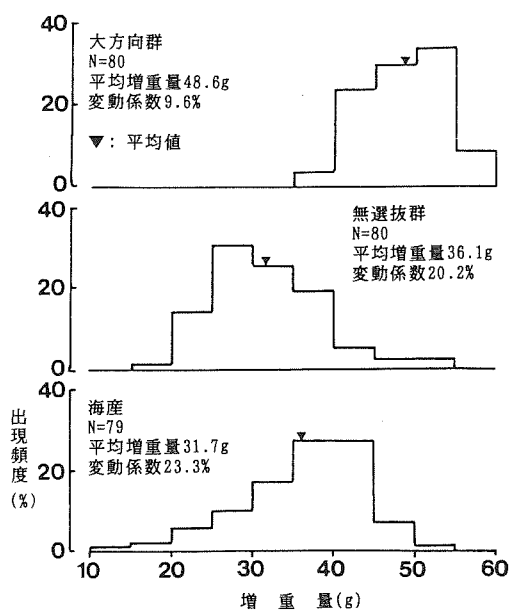


図11 選抜群と海産群の体重組成

2) 人工種苗トビ群の成長評価 混合飼育における増重量と日間成長率を表5に示した。I～II期通算の増重量は大型区でA群49.98g, B群46.65gであり, 小型区ではA群では42.75g, B群37.

表5 トビ由来兄弟群の混合飼育における増重量と日間成長率

| 項目 | A | B | クローン |
|-----------------|---------------|------------|--------------|
| 個体数 | 50 | 46 | 45 |
| 開始時体重(g) | 8.22±0.37 NS | 8.27±0.39 | 8.22±0.38 NS |
| 大型区 | | | |
| I期増重量(g) | 16.00±1.06 NS | 15.69±1.28 | 10.18±1.12 * |
| II期増重量(g) | 33.98±3.23 * | 30.96±4.22 | 20.71±2.20 * |
| I～II期増重量(g) | 49.98±3.69 * | 46.65±4.72 | 30.89±2.73 * |
| I期日間成長率(%/日) | 3.86±0.15 NS | 3.80±0.21 | 2.87±0.23 * |
| II期日間成長率(%/日) | 2.65±0.17 * | 2.51±0.24 | 2.28±0.18 * |
| I～II期日間成長率(%/日) | 3.21±0.11 * | 3.10±0.16 | 2.55±0.12 * |
| 個体数 | 47 | 48 | 39 |
| 開始時体重(g) | 5.48±0.27 NS | 5.52±0.29 | 5.54±0.31 NS |
| 小型区 | | | |
| I期増重量(g) | 13.19±1.18 * | 12.04±1.60 | 8.40±0.86 * |
| II期増重量(g) | 29.56±3.13 * | 25.61±3.47 | 19.46±1.54 * |
| I～II期増重量(g) | 42.75±3.90 * | 37.65±4.52 | 27.86±2.00 * |
| I期日間成長率(%/日) | 4.37±0.23 * | 4.12±0.33 | 3.29±0.23 * |
| II期日間成長率(%/日) | 2.87±0.17 * | 2.72±0.22 | 2.65±0.15 NS |
| I～II期日間成長率(%/日) | 3.56±0.14 * | 3.36±0.18 | 2.95±0.11 * |

B群との比較 * : P < 0.01, NS : 有意差なし
85日間飼育 (I期 : 28日間, II期 : 33日間, III期 : 24日間)

65 g となり、ともに A 群が優れた。また、その変異幅も A 群で小さくなる傾向を示した。分離飼育における A、B 群の成長を表 6 に示した。体重は 4 % および 6 % 給餌区とも A 群で大きく、混合飼育と同様の結果となった。飼料効率は 6 % 給餌区が 4 % 区に比べ給餌過多のためか両群とも低かったが、A、B 群の差は 4 % 区で 15.7%、6 % 区で 10.5% と大きかった。

表 6 分離飼育における A、B 群の成長

| 給餌率 | 4% | | | 6% | | |
|------------|------------|------------|----|------------|------------|----|
| | A | B | | A | B | |
| 開始時体重 (g) | 9.77±0.42 | 9.70±0.41 | NS | 9.74±0.43 | 9.73±0.43 | NS |
| 変動係数 (%) | 4.3 | 4.2 | | 4.4 | 4.4 | |
| 終了時体重 (g) | 17.55±0.94 | 16.29±0.97 | * | 19.08±1.23 | 17.55±1.28 | * |
| 変動係数 (%) | 5.4 | 6.0 | | 6.5 | 7.3 | |
| 日間成長率(%/日) | 2.66 | 2.36 | | 3.06 | 2.68 | |
| 飼料効率 (%) | 88.1 | 72.4 | | 64.5 | 54.0 | |

* : $P < 0.01$, NS : 有意差なし
飼育日数 22 日間

3) クローン魚の成長評価 混合飼育の結果を表 7 に示した。体重と日間成長率は 3 群間で差がみられヘテロクローンが最も優れ、次いでクローン WA 1 となり、クローン WA 2 で劣った。また、対照群として用いた無選抜群とヘテロクローンには成長差はみられなかった。変動係数は対照群に比べ各クローンで明らかに小さかった。分離飼育の結果を表 8 に示した。中間時体重はクローン WA 1 およびヘテロクローンとクローン WA 2 の間に差がみられた。終了時体重は 3 群間で差がみられたが、クローン WA 1 の体重がヘテロクローンを上回り混合飼育の結果と異なった。

表 7 混合飼育によるクローン間の成長比較

| 項目 | 対照群 N=58 | クローン WA1 N=55 | クローン WA2 N=57 | ヘテロクローン N=59 |
|-------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 開始時体重 (g) | 6.46±0.29 | 6.45±0.30 ^{a*} | 6.45±0.27 ^a | 6.47±0.27 ^a |
| 変動係数 (%) | 4.5 | 4.7 | 4.2 | 4.2 |
| 中間時体重 (g) | 17.62±2.62 | 16.84±1.45 ^a | 12.53±0.70 ^b | 17.69±0.94 ^c |
| 変動係数 (%) | 14.9 | 8.6 | 5.6 | 5.3 |
| 終了時体重 (g) | 38.94±7.42 | 33.60±3.37 ^a | 26.51±2.48 ^b | 37.89±3.00 ^c |
| 変動係数 (%) | 19.1 | 10.0 | 9.4 | 7.9 |
| 全期日間成長率 (%) | 3.12±0.34 | 2.89±0.16 ^a | 2.47±0.16 ^b | 3.10±0.16 ^c |
| 変動係数 (%) | 10.9 | 5.5 | 6.5 | 5.2 |

* : 異なる符号 (a,b,c) でクローン間に有意差 ($P < 0.01$) が認められることを示す
57 日間飼育 (中間時 27 日目)

表8 分離飼育によるクローン間の成長比較

| 項目 | クローンWA1 | クローンWA2 | ヘテロクローン |
|-------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 開始時体重 (g) | 6.46 ± 0.27 ^{a*} | 6.48 ± 0.26 ^a | 6.51 ± 0.29 ^a |
| 変動係数 (%) | 4.2 | 4.0 | 4.5 |
| 中間時体重 (g) | 14.42 ± 1.11 ^a | 10.66 ± 0.67 ^b | 14.38 ± 0.77 ^a |
| 変動係数 (%) | 7.7 | 6.3 | 5.4 |
| 終了時体重 (g) | 23.67 ± 2.81 ^a | 16.15 ± 1.25 ^b | 22.44 ± 1.81 ^c |
| 変動係数 (%) | 11.9 | 7.7 | 8.1 |
| 全期日間成長率 (%) | 3.33 | 2.34 | 3.17 |
| 全期飼料効率 (%) | 75.1 | 41.9 | 72.0 |

* : 異なる符号 (a,b,c) 間で有意差 (P < 0.01) が認められることを示す
39日間飼育 (中間時22日目)

3. 成長に関する交雑試験

1) 海産アユ, リュウキュウアユおよびその交雑種の性成熟過程の比較

6月16日まで自然日長下に置き, その後12.5Lの日長下で飼育した場合の交雑1代目の生殖腺指

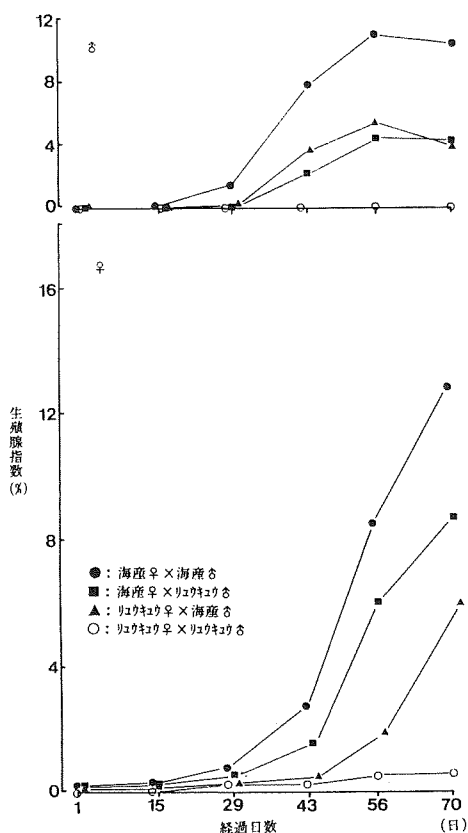


図12 交雑1代目の12.5L区における生殖腺指数の変化

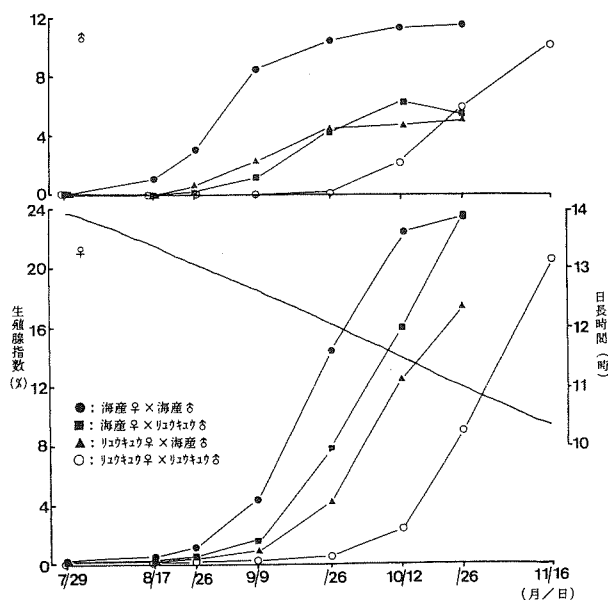


図13 交雑1代目の自然日長下における生殖腺指数の変化

数の変化を図12に示した。海産アユは29日目以降急激に成熟が進んだが、リュウキュウアユの生殖腺の発達はほとんど認められなかった。2種類の交雑1代目の成熟は海産アユとリュウキュウアユの中間的傾向を示した。自然日長下における交雑1代目の生殖腺指数と日長時間の変化を図13に示した。海産アユは日長時間が13.5Lを下回る8月中旬から、また、リュウキュウアユは12Lを下回る10月上旬から成熟を開始した。2種類の交雑1代目は12.5L区と同様に海産アユとリュウキュウアユの中間的な値を示したが、両者とも雄は9月下旬以降生殖腺指数の増加はみられなかった。また、リュウキュウ♀×海産♂の雌では生殖腺が対になっていないものや全く発達しないものもみられたが、海産♀×リュウキュウ♂の雌では外観的な異常はみられなかった。11月30日における精液抽出可能個体の割合は海産アユとリュウキュウアユでは100%であったのに対し、交雑1代目では20%程度と低かった。

交雑2代目の自然日長下における生殖腺指数の変化を図14に示した。海産アユとリュウキュウアユの成熟は交雑1代目調査時と同様の傾向を示し、成熟の進行は海産に近い系統ほど早かった。生殖腺指数の分布は交雑2代目では広い範囲にあり変異の拡大が認められた。

交雑による正常ふ化率を図15に示した。交雑1代目ではリュウキュウ♀×海産♂の組み合わせで、2代目では海産同士の交配を除くすべての組み合わせで低くなった。

2) 海産アユ, リュウキュウアユとその交雑種の成長比較 交雑1代目の飼育結果を表9に示した。体重は海産アユ, 海産♀×リュウキュウ♂, リュウキュウ♀×海産♂の順となり, リュウキュウアユが最も小さかった。2種類の交雑1代目の成長は海産アユとリュウキュウアユの中間的な値を示した。

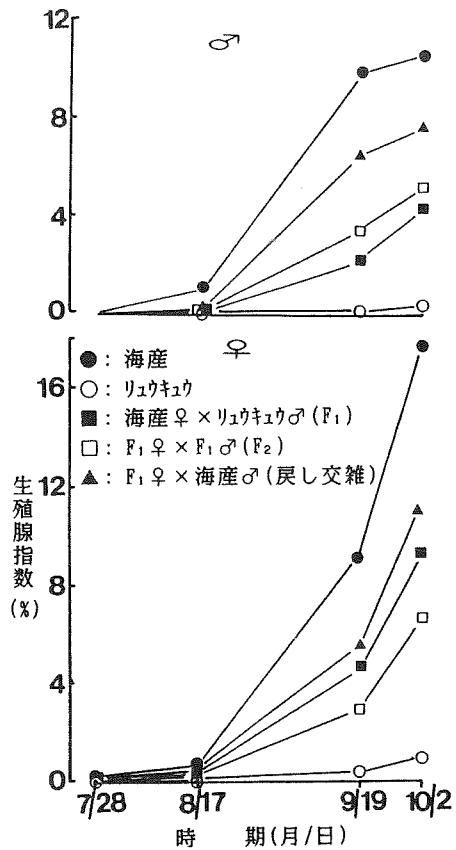


図14 交雑2代目の自然日長下における生殖腺指数の変化

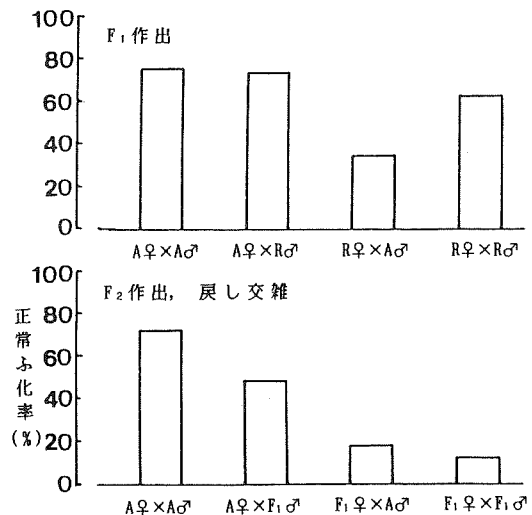


図15 海産アユとリュウキュウアユの交雑における正常ふ化率
A: 海産アユ, R: リュウキュウアユ
F₁: A♀×R♂によるF₁

表9 海産アユ, リュウキュウアユとその交雑一代目の飼育結果

| 項目 | 海産♀× 海産♂ | 海産♀× リュウキュウ♂ | リュウキュウ♀× 海産♂ | リュウキュウ♀× リュウキュウ♂ |
|----------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 開始時体重 (g) | 6.00±0.29 | 5.95±0.27 | 6.03±0.28 | 6.04±0.28 |
| I期体重 (g) | 25.55±2.64 ^{a*} | 19.87±2.16 ^b | 17.70±2.11 ^c | 12.87±1.22 ^d |
| II期体重 (g) | 54.02±5.64 ^a | 38.03±4.37 ^b | 32.94±4.27 ^c | 20.05±2.15 ^d |
| III期体重 (g) | 89.66±13.99 ^a | 69.30±8.41 ^b | 59.70±7.12 ^c | 34.11±3.47 ^d |
| I期日間成長率(%/日) | 4.53 | 3.77 | 3.37 | 2.36 |
| II期日間成長率(%/日) | 3.26 | 2.82 | 2.70 | 1.93 |
| III期日間成長率(%/日) | 1.63 | 1.94 | 1.92 | 1.71 |
| 全期日間成長率(%/日) | 3.14 | 2.85 | 2.64 | 2.01 |

* : 異なる符号 (a,b,c,d) 間で有意差 (P < 0.01) が認められることを示す
86日間飼育 (I期 : 32日間, II期 : 23日間, III期 : 31日間)

交雑2代目の体重の推移を図16に示した。61日目までの体重は海産アユ>戻し交雑>交雑1代目>交雑2代目>リュウキュウの順となった。交雑2代目では変異は拡大したが成長は悪く, 最大個体でも海産アユにの平均値に及ばなかった。また, 交雑1代目の体重は海産アユとリュウキュウアユの中間値に一致した。

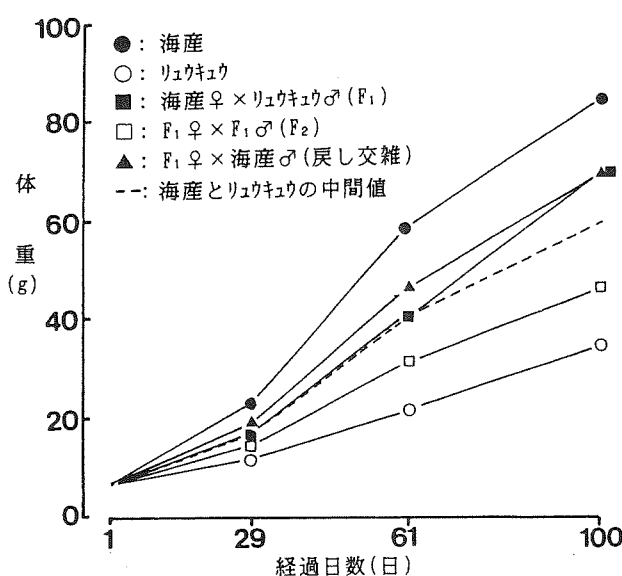


図16 海産アユ, リュウキュウアユとその交雑2代目の体重の推移

考 察

1. 成長に関する選抜試験

本研究では, 体重に於ける切断型選抜を大方向に4世代, 小方向に3世代にわたって行い, 無選抜群に対する体重比により選抜反応を調べた。選抜3代目の無選抜群に対する体重比は, 大方向で1.49倍, 小方向で0.51倍となり選抜反応が認められた。表現型が親から受け継いだ遺伝子の効果によって決定される割合を示す狭義の遺伝率は育種を進める上で重要なパラメーターであり¹⁾, 選抜実験から推定される実現遺伝率は狭義の遺伝率と考えられる²⁾。新城³⁾は, 遺伝率を低い (0.2以下), 中位 (0.3~0.5), 高い (0.6以上) に分け, 高い形質は個体選抜や切断型選抜が有効であり, 中位の形質は家系・個体組み合わせ選抜が効果的であるとしている。本研究において, 大・小の両方向か

ら推定される実現遺伝率の平均値は0.677であり、個体選抜や切断型選抜が有効であることを示している。しかし、大方向は1代目の増加が大きく、以後ゆるやかに変化したものに対し、小方向は直線的に減少し、2方向への選択で応答の違いがみられた。大方向の1代目の高い選択反応は、選抜割合が3%と強いことに関係するものと考えられる。方向別の実現遺伝率の平均値は、大方向で0.370、小方向で0.580となり、マダイにおいて体重により大方向へ7世代の選抜で得られた平均値0.33⁴⁾と近い値となった。しかし、大方向の実現遺伝率は世代間で大きくばらついた。この原因は不明であるが、切断型選抜により親魚候補を得た後実際の採卵は採卵可能魚からランダムに行ったため、親魚の偏りが生じた可能性がある。

これらのことから、アユにおいて選抜育種による体重の改良は有効であると考えられる。今後は切断型選抜の試験例を蓄積しその再現性を確認するとともに、大方向への遺伝率が中位であったことから家系選抜と個体選抜を組み合わせた選抜法の検討も必要であろう。

本研究では、選抜試験で得られた各選抜群、人工種苗トビ群およびクローンの成長特性の把握を行った。選抜群の成長をみると、大方向と小方向の全長と体重の差は仔魚期ではみられず稚魚期で明瞭になった。この成長特性がアユにおいて一般的なものかさらに検討を要するが、成長に関する選抜は稚魚期以降に行うべきと考えられる。

稚魚期以降の成長を把握するため、選抜3代目まで毎世代各選抜群を80尾ずつ用い、ほぼ同じ条件下で約2ヶ月間混合飼育した結果、世代間の変化は大方向ではやや異なるものの全体的には成長に関する選抜試験の結果と符号し、選抜魚の成長評価は小規模な飼育試験で可能であると考えられる。また、変動係数の推移から、大方向ではクローンと同様に成長の変異が小さくなることが示された。また、選抜1代目の大方向から作出した6群の半兄弟群の成長は無選抜群より明らかに優れ、1代目において遺伝的固定がかなり進んでいることが示唆される。給餌率を変えた分離飼育において、飽食給餌率は大方向で6%、小方向で4%と推定され飼料効率にも差があることから、大小方向への成長差は摂餌量と飼料効率の違いによりもたらされたものと考えられる。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。

各選抜群の成長評価は無選抜群との比較だけでなく、実用面から養殖用種苗として用いられる天然種苗との間で行う必要がある。本研究では地先海面で採捕された海産アユを用い、分離および混合飼育により比較した。大方向は天然種苗の海産アユより明らかに成長が優れることが判った。また、無選抜と海産の成長性に大きな差はなく、本研究において選抜群の成長評価に本無選抜群を用いたことは適切であったと考えられる。

次に、人工種苗トビ群とクローンの成長の特性を検討する。人工種苗トビ群の成長性をみると、増重量の大きい親同士から作出した兄弟群は、小さいもの同士から作出した兄弟群に比べ成長が優れた。また、これらトビ群由来の兄弟群は、無選抜群に比べ明らかに成長が良く⁵⁾、今後選抜の効率化のためにもさらにトビ群の成長特性の解明が必要である。

クローンは遺伝的に均一な集団であるため、その表現型分散は環境分散のみから構成される。このことは毎年環境に大きな変化のない限り、規格化した生産物の供給が可能であることを示している。本研究における分離・混合飼育においても対照群に比べ、クローン内では成長の均一化が

みられクローン間に成長差が存在した。また、混合飼育ではヘテロクローンに雑種強勢が認められた。4系統のクローンをふ化時から同一水槽に入れ求めた10ヶ月目の体長および体重の遺伝率は0.7~0.8と高い値となり、クローンにおいて成長の優れた系統を高い信頼度をもって選抜できる可能性があることが示されている⁶⁾。このことから、選抜育種により得た改良系統を親魚に用いて多数のクローンを作成し、それらの交配により組み合わせ能力の高いヘテロクローンを作出することは今後の一つの方向と考えられる。

2. 成長に関する交雑試験

本研究では垂種関係⁷⁾にある海産アユとリュウキュウアユを用いて交雑を行った。性成熟過程をみると12.5Lの日長下で海産アユが順調に成熟したが、リュウキュウアユの生殖腺の発達はほとんど認められなかった。また、自然日長下でも両者の成熟開始時期に違いがみられ、海産アユは13.5Lを下回る8月中旬から、リュウキュウアユは12Lを下回る10月上旬から成熟を開始し、12.5Lでは成熟しないという電照区の結果と一致した。このように、海産アユとリュウキュウアユの間には明らかに異なる日長反応性が存在し、この違いは同一飼育条件下の複数例でみられたことから遺伝的に固定されたものと考えられる。交雑1代目の性成熟は両親の中間的な値を示し、戻し交雑種を含む2代目では海産系に近いほど早かった。また、F₁同士の交雑による2代目の生殖腺指数は、広い範囲に分布し変異の拡大が認められたことから、性成熟における両者の遺伝的差が確認される。しかし、交雑の組み合わせにより正常ふ化率が低い例がみられ、それらの育成後の生殖腺は異常を示す場合が多かった。これらのことは種間雑種作出時にみられる現象⁸⁾と類似している。

成長についてみると、リュウキュウアユは海産アユより明らかに成長が劣った。交雑1代目の成長は性成熟過程と同様に両者の中間値を示し2代目で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は遺伝的に固定されたものと考えられる。このように、交雑1代目において雑種強勢効果は認められなかった。

海産アユとリュウキュウアユの特性を利用し高成長で晩熟系のアユを作出するためには、交雑2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。本研究において交雑2代目の成長および性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。これまでみてきたように、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。

II 体型に関する遺伝特性の解明

海産系の養殖魚と天然魚の体型を比較するとともに、クローンを用いて体型の遺伝性の検討を行った。また、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および低いものを選抜して2群ずつの兄弟群を作成し2世代間の体高を比較した。

方 法

1. 養殖魚と天然魚の体型比較

海産系養殖魚（A～D群）と本県紀ノ川で刺網により採捕された天然魚（W群）の40～50尾について、8月上旬に10%ホルマリン液で固定後計測した。

2. クローン間の体型比較

供試魚は7月から9月にかけて混合飼育したクローンWA1, クローンWA2, ヘテロクローン（クローンWA1と同WA2の交配による）および無選抜群の雌（対照群）で、各20尾を10%ホルマリン液で固定後計測した。

3. 体高に関する選抜試験

選抜2代目の大方向群の中から体高の高い親魚と低い親魚を選抜し、高いもの同士および低いもの同士の1:1の交配により、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）, 雌27.4%, 雄23.6%（同兄弟群-2, 以下高-2）, 雌20.2%, 雄18.4%（体高の低い親魚から作出した兄弟群-1, 以下底-1）および雌20.1%,雄18.3%（同兄弟群-2, 底-2）であった。これらの体高比を5月10日, 7月3日, 8月2, 25日に調べた。5月10日と7月3日は飼育環境を同一化した分離飼育中のものを30尾ずつ, 以後は無選抜を含む混合飼育中のものを30～40尾用いた。また, 初代兄弟群を各60尾ずつ用い混合飼育した後, これらの魚から兄弟群別に各50%の選抜割合で親魚を選定し, 複数個体の兄妹交配により2代目を作出した。これらを初代群とほぼ同じ方式で飼育し体高を比較した。

結 果 お よ び 考 察

1. 養殖魚と天然魚の体型比較

各部位の体長比を図17に示した。養殖魚は天然魚に比べ, 体高は背鰭前, 肛門位とも, また体幅は1例を除き各々大きかった。天然魚で背鰭形態のL2Dや尻鰭条長は大きく, 背鰭基底長は小さかった。背鰭前部長, 尾長および尾柄長は一定の傾向はみられなかった。このように, 養殖魚と天然魚の体型は体軸方向の比率に差がみられず, 体の上下方向や幅に差がみられることが多いと考えられる。背鰭形態や尻鰭条長を含めたアユの体型は, 環境に強く影響されると考えられるが, 養殖魚で変動係数が高いと考えられた尾柄長, 体高および体幅は天然魚でも高い値を示した。異なる生息環境にあっても変動係数が高いこれらの部位には, 遺伝的要因が関係するものと考えられる。

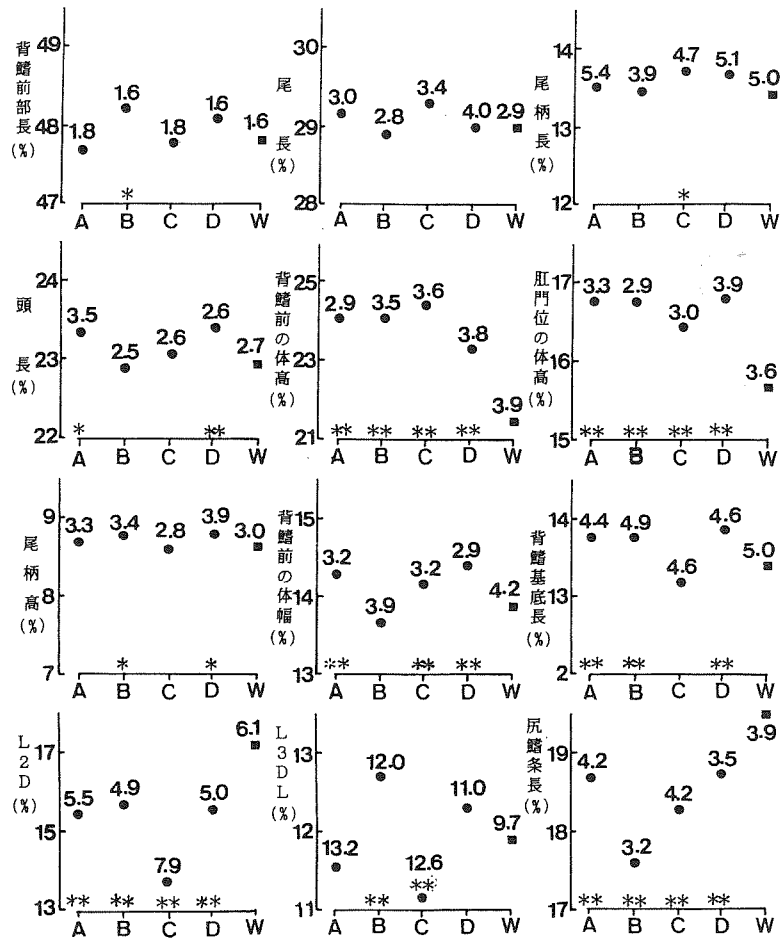


図17 養殖魚と天然魚の各部位の体長化

A~D: 養殖魚, W: 天然魚

L2D: 背鰭の前より2番目の主鰭条長

L3DL: 背鰭の後より3番目の主鰭条長

天然魚との比較 ** : $P < 0.01$ * : $P < 0.05$

数字は変動係数 (%)

2. クローン間の体型の比較

各部位の体長比を図18に、平均値の差の検定結果を表10に示した。尾柄長は3群間で差はみられなかったが、それ以外の部位ではクローンWA1とクローンWA2間およびクローンWA1とヘテロクローン間のすべてで差がみられた。クローンWA2とヘテロクローン間では背鰭前部長、尾長、体高および尾柄高で差がみられた。ヘテロクローンは肛門位の体高を除き、両親の中間値かどちらかの親に近似した。変動係数はクローンでは対照群より明らかに

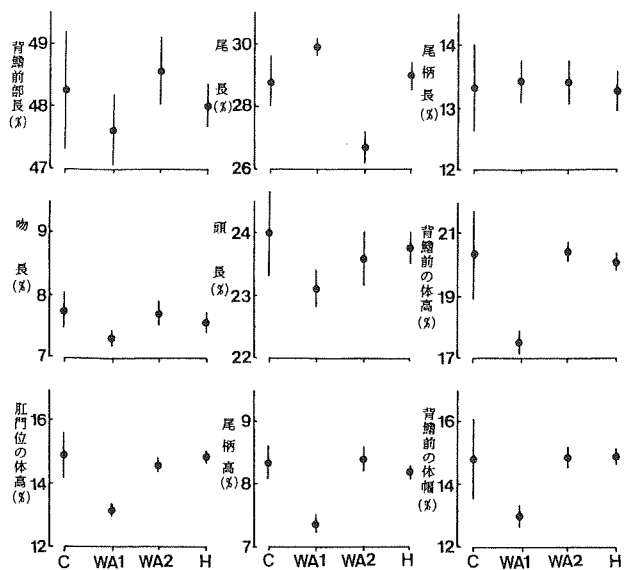


図18 クローンの各部位の体長比

C: 対照群, WA1: クローンWA1

WA2: クローンWA2, H: ヘテロクローン

表10 クローン間における体長に対する各部位比の平均値の差の t 検定結果

| 項目 | クローンWA1 : クローンWA2 | クローンWA1 : ヘテロクローン | クローンWA2 : ヘテロクローン |
|--------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 背鰭前部長 | ** | * | ** |
| 尾 長 | ** | ** | ** |
| 尾 柄 長 | NS | NS | NS |
| 吻 長 | ** | ** | NS |
| 頭 長 | ** | ** | NS |
| 背鰭前の体高 | ** | ** | ** |
| 肛門位の体高 | ** | ** | ** |
| 尾 柄 高 | ** | ** | ** |
| 背鰭前の体幅 | ** | ** | NS |

** : P < 0.01, * : P < 0.05, NS : 有意差なし

小さく体型の均一化がみられた。

このように、同一条件下で飼育したクローン間に体型の差がみられ、同一クローン内の変異が小さいことからこの差は遺伝的なものであることが推定される。

3. 体高に関する選抜試験

2世代間の体高比の推移を図19に示した。体高の低い親魚由来群は体高比が20%を越えることはなかった。体高の高い親魚由来群の体高比が20%を越える時期は、高-1で7月中旬、高-2で7月中旬となり無選抜群の8月下旬より早かった。終了時の体高比は初代群では底-1で19.4%、低-2で19.3%、高-1で21.4%、高-2で21.6%、無選抜群で20.7%となり、また、2代目群では低-1で19.0%、低-2で19.7%、高-1で23.1%、高-2で22.4%、無選抜群で20.9%となった。このように、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との間には明らかな体高比の違いがみられ、無選抜群は中間的な値を示

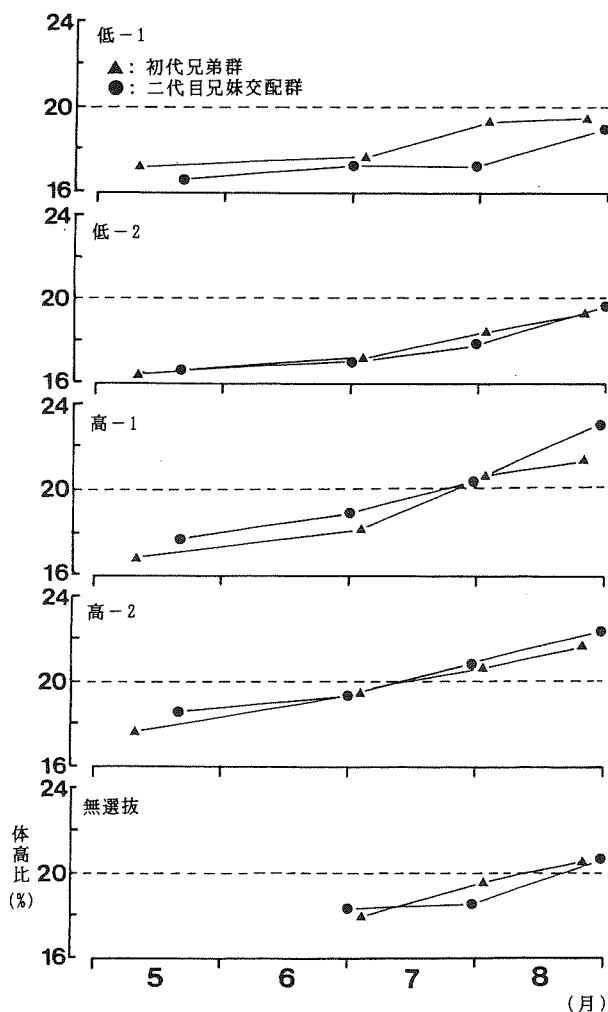


図19 体高の異なる親魚から作出した兄妹交配群の体高比の推移
 低-1,2; 体高の低い親魚から作出した兄妹交配群
 高-1,2; 体高の高い親魚から作出した兄妹交配群

した。初代と2代目の終了時の比較では無選抜群に差はなく、低-2の初代でより低い値を示したものの他は2代目で望む方向に変化した。このように、体高の改良において家系選抜の有効性が示された。

これまで養殖アユの体型は飼育環境条件^{9, 10)}との関係で検討されてきたが、クローン間の顕著な体型差が示すように遺伝子型の相違も大きな要因と考えられる。本研究では、体高の家系選抜効果を調べたが、今後は他の部位も含めた固体選抜の有効性について検討する必要があるだろう。

文 献

- 1) D.S.Falconer (1993) : 量的遺伝学入門 (田中嘉成, 野村哲朗共訳), 蒼樹書房.
- 2) 和田 (1984) : 養殖研報, 6, 79-157.
- 3) 新城 (1992) : 動物育種遺伝学入門, 川島書店.
- 4) O. Murata, T. Harada, S. Miyasita, K. Izumi, S. Maeda, K. Kato, H. Kumai (1996) : Fisheries Sci. 62 (6), 845-849.
- 5) 和歌山県内水面漁業センター (1994) : 水産生物有用形質識別評価手法開発事業報告書, 日本水産資源保護協会, 89-98.
- 6) 谷口 (1994) : 水産生物有用形質の識別評価手法マニュアル, 日本水産資源保護協会, 133-198.
- 7) M.Nishida(1988) : Japan.J.Ichthyol. 35 (3), 236-242.
- 8) 水間・猪・岡田 (1982) : 家畜育種学, 朝倉書店.
- 9) 丸山・石田 (1978) : 淡水研報, 28 (2), 211-219.
- 10) 辻村 (1987) : 昭和61年度和歌山県内水面漁業センター事業報告書, 12, 13-17.