

# ビワマスの成長に関する選抜育種の研究

田中秀具

Study of the selective breeding about the growth of biwa-salmon, *Oncorhynchus masou rhodurus*

Hidetomo Tanaka

キーワード：ビワマス、養殖、選抜育種、成長

ビワマス, *Oncorhynchus masou rhodurus*<sup>1)2)</sup>は琵琶湖固有のサケ科魚類で、重要な水産資源である。

食品としては、淡水魚特有の臭みがなく、琵琶湖の魚の中で最もおいしいとされ、特に冬季～7月の刺身は、脂がのり、マグロのトロにも負けないほど美味といわれる<sup>3)</sup>。また、産卵のために接岸・河川遡上した魚を用いた炊込み御飯は、「マス飯」「アメノウオ(アメノイオ)御飯」等と呼ばれて、琵琶湖周辺では秋を代表する味覚であった<sup>3)</sup>。

しかし、その漁獲量の変遷を、滋賀県農林水産統計年報(近畿農政局編)によって辿ると、漁獲量の多かった1955年～1959年の年平均漁獲量は75トで、特に、1958年には98トにも達したが、その後は減少し、1999年～2003年の年平均漁獲量は27.4トと、近年は年間30ト弱の漁獲に留まっている。

それに伴って、「昭和30年(1955年)頃は、ビワマスが多く獲れて、大阪などへも出荷されていた。」<sup>3)</sup>といわれる流通経路も縮小し、琵琶湖の特産物としての存在価値は、滋賀県民にすら忘れられつつある。

一方、ビワマスを対象種とした養殖業はなく、飼育という行為に範囲を広げても、滋賀県漁業協同組合連合会が天然親魚から採卵して実施している放流用種苗の生産があるのみである。また、育種学的観点から本種をみれば、滋賀県醒井養鱒場が保有する研究用の飼育群を除いて、野生集団<sup>4)</sup>または半野生集団<sup>4)</sup>以外の飼育系統の存在を知らない。これまで行われてきた本種の飼育研究も、野生集団・半野生集団を対象として実施されたものが多く、しかもその殆どが、本種の人為管理下における成長不良を指摘している<sup>2)5)6)7)8)9)10)11)12)13)14)15)</sup>。

もし、ビワマスの養殖品種が作出でき、琵琶湖周

辺地域の新しい特産養殖魚として定着し、流通経路が拡大すれば、単に養鱒業の振興となるだけでなく琵琶湖におけるビワマス漁業の活性化にもつながるものと考えられる。

筆者は、滋賀県醒井養鱒場(2005年4月1日付けで「滋賀県水産試験場醒井養鱒場」に組織改編.)において継代飼育されてきたビワマスの中に、人為管理下でも比較的成長の良い個体が存在することに着目し、これを素材として成長に関する選抜育種に取り組み、養殖魚として実用的な大きさになる群を作出することに成功した。本稿では、作出の経過と、その過程で得られた育種研究に関するいくつかの知見について報告する。

## 材料および方法

### 供試親魚

選抜の材料とした親魚は、滋賀県醒井養鱒場で継代飼育されてきた琵琶湖産由来のビワマスで、推定飼育5代目に相当(但し、継代の正式な記録は無く、系統保存は厳密ではない)し、1989年10月下旬に採卵された(同年12月上旬に孵化)個体群を、筆者が親魚養成試験として1990年4月(孵化後4ヶ月)から飼育し、1991年10月に孵化後22ヶ月(1+)で成熟させたものである。親魚養成試験の結果は別に報告した<sup>16)</sup>が、本研究に関わる内容については、本報の一部に編入して報告する。

### 育種目標と選抜形質

ビワマスの商品体型は600g～1kg以上(平均800g)であること(筆者未発表資料)をふまえ、鮭鱒類養殖

の普及種であるニジマス, *Oncorhynchus mykiss* の成長や養殖法を参考にして、育種の目標を、2歳(厳密には、孵化後22ヶ月)で体重1kg(体長では概ね40cm)以上、または、養殖製品としては成熟前の孵化後20ヶ月で体重800g(体長では概ね38cm)以上に成長するものとした。

尚、本研究の目的に合致する選抜形質として体重と体長が考えられるが、量的形質の統計的取り扱いには、変異の分布が正規分布に従う確率モデルに基づくという仮定に立脚しており<sup>4)</sup>、体重より体長の方が変異の解析<sup>17)</sup>が容易であるとの判断から、選抜形質は体長とした。但し、水産業界では体長より体重の方がよく用いられるため、体長を測定時には体重も併せて測定し、必要に応じて体重も併記した。

**試験の設定**

個体選抜試験と集団選抜試験を実施した。

**個体選抜試験** 供試親魚群のうち、大型の雄個体と雌個体を選抜し、それぞれに大型と小型の配偶個体を交配して試験魚を得、比較飼育した。試験区の設定を表1. に示す。この試験は試験区を3つ設定した。試験区Ⅰは大型の雄(ML1)に大型雌(FL1)または小型の雌(FS1)を交配した区、試験区Ⅱと試験区Ⅲは大型の雌(FL2・FL3)に大型の雄(ML2)または小型の雄(MS1)を交配した区である。採卵・交配は試験区Ⅰが1991年11月3日、ⅡとⅢが1991年11月4日である。

また、各試験区の大型雌(FL1, FL2, FL3)の卵を用いて雌性発生魚(第2極体放出阻止による)を作出<sup>18)</sup>

し、対照として飼育した。尚、雌性発生魚は、紫外線照射(2425~2910erg/mm<sup>2</sup>)により遺伝的に不活性化した精子を卵に媒精し、その15分後に26℃、20分の高温処理することにより作出した。

各試験魚は、孵化後1.1ヶ月の餌付け開始から孵化後4ヶ月まで試験魚群別に飼育したが、孵化後4ヶ月以降、各々鰭切り標識により区別し、試験区毎に同一の水槽で飼育(混養)した。

**集団選抜試験** 供試親魚群から、大型個体を群として選抜し、選抜群内で無作為に交配し、大型選抜群を作出した。対照として供試親魚群から無作為に選抜した親魚群を無作為に交配し、無選抜群を作出した。集団選抜試験における試験区の選抜設定を、表2. に示す。

採卵・交配は、親魚群の採卵期間1991年10月29日~11月12日のうち、大型選抜群を主に11月8日に、無選抜群を主に11月5日に実施した。また、琵琶湖産の天然親魚から採卵した群(以下“天然群”と記す。)も比較のために並行して飼育した。尚、この天然群は滋賀県マキノ町の知内川河口部の小型定置網で採捕された天然親魚から1991年11月17日に採卵・交配されたものを、発眼卵で滋賀県醒井養鱒場へ輸送し、孵化させたものである。

**飼育方法**

採卵・交配および飼育は、集団選抜試験の天然群(前述)以外は、すべて滋賀県醒井養鱒場の施設で行った。飼育は餌付け開始時(孵化後1.1ヶ月)から孵

表1. 個体選抜試験区の親魚と試験魚群

試験区	雌親(体長,cm)	雄親(体長,cm)	試験魚群名(標識)
Ⅰ	FL1 (32.4)	ML1 (38.5)	L1L1 (脂鰭カット)
	FS1 (26.8)	ML1 (38.5)	S1L1 (腹鰭カット)
	FL1 (32.4)	雌性発生	L1G (無標識)
Ⅱ	FL2 (32.8)	ML2 (31.3)	L2L2 (無標識)
	FL2 (32.8)	MS1( 26.5)	L2S1 (脂鰭カット)
	FL2 (32.8)	雌性発生	L2G (腹鰭カット)
Ⅲ	FL3 (32.4)	ML2 (31.3)	L3L2 (腹鰭カット)
	FL3 (32.4)	MS1 (26.5)	L3S1 (脂鰭カット)
	FL3 (32.4)	雌性発生	L3G (無標識)

表2. 集団選抜試験における親魚の選抜設定

試験群名	選抜親魚数(尾)	平均体長(cm)	不偏分散平方根(cm)	選択差(cm)
大型選抜群	32	31.20	1.76	3.05
無選抜群	130	27.95	2.54	-0.19

化後22ヶ月(月齢)まで行った。飼育方法や飼育環境条件は、飼育用水、飼育場所、飼育飼料等できる限り親魚世代も含めて揃えるようにし、ニジマス及びアマゴ、*Oncorhynchus masou macrostomus*の種苗生産・養殖方法に準じた。具体的には以下のとおりとした。

飼料はニジマス用、アマゴ用の市販配合飼料を用いた。給餌はニジマス用のライトリッツ給餌率表を参考にしつつ、飽食量を与えた。

飼育水は湧水で年間を通じて $12 \pm 0.5^\circ\text{C}$ である。水量は十分量を確保し、飼育密度も余裕のある状態( $20\text{kg}/\text{m}^3$ 以内)を保ち、成長とともに大型の池へ移した。尚、飼育期間を通じて大小個体の選別・分養等飼育集団の構造に影響するような操作は一切行わなかった。

### 測定および育種効果の判定

飼育期間中、原則として毎月1回全個体を取り上げ、飼育各群の現存量をチェックし、各群50尾(50尾以下の群は全個体)について被鱗体長(以下“体長”と記す。)と体重を麻酔(m-アミノ安息香酸エチルメタンシルホネート:(株)ナカライテスク製)をかけて測定した。飼育群毎の各月の平均体長を用いて各群の体長の成長曲線<sup>17)19)</sup>を求め、成長特性を検討した。

孵化後22カ月には飼育全個体について体長と体重を測定し、体長について飼育群間および同月齢の親魚と比較することにより選抜効果の判定を行った。また、飼育各群の成熟率、孕卵数、卵重等再生産に関する調査も実施し、選抜に伴う変化を検討した。

### 結果に対して影響が懸念される項目の検討

個体選抜試験では、浮上(餌付け)~孵化後4ヶ月の間、群別に飼育し、以降は試験区毎に混養した。そこで、初期成長がその後の成長に及ぼす影響について検討した。次に、混養の影響を見るために、試験区IのL1G群の一部を無作為に抽出して別水槽にて単独飼育し、22ヶ月齢の生育状況について混

養区(試験区I)のL1G群と比較検討した。

また、選抜効果の判定に対する体長の性差の影響について検討した。

## 結果および考察

### 親魚群の成長・生残と成熟

**成長と生残** 親魚群の孵化後5ヶ月から孵化後22ヶ月までの各月の平均体長を図1.に示す。図1.に明らかなように、孵化後16ヶ月付近に成長の変化点が存在するので、その前後で別々に成長曲線を求めることとした。時間を $t$ (孵化後の月齢)、体長を $L_t$ (cm)として、最小二乗法<sup>19)</sup>により計算すると、変化点の

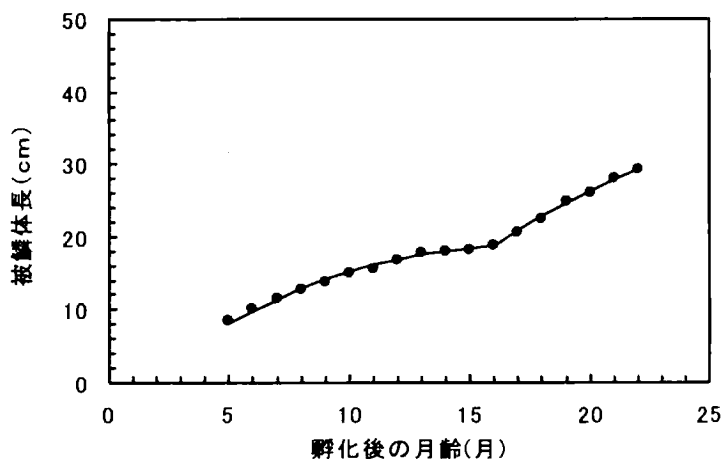


図1. 親魚群の成長(体長)

表3. 親魚群の成長曲線式(体長)

ゴムベルツ成長曲線:  $L_t = L_\infty \cdot e^{-e^{-\alpha - \lambda t}}$   
 [t: 月齢(孵化後月数),  $L_t$ : 月齢tの体長(cm),  $L_\infty$ : 極限体長(cm)]

tの範囲(月)	$L_\infty$ (cm)	$\alpha$	$\lambda$	適合の判定
5~16	19.941274	1.093701	0.238736	1%有意
16~22	39.658933	2.153130	0.151970	1%有意

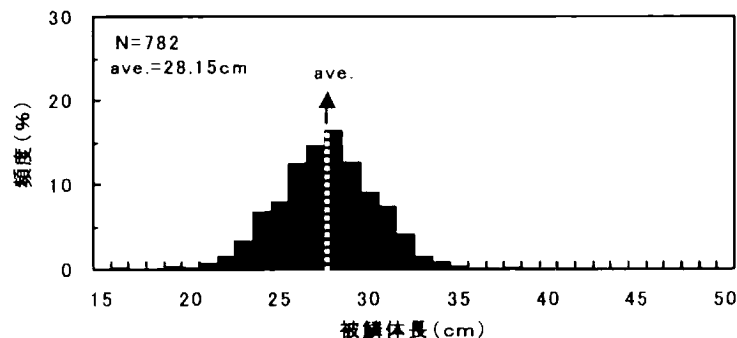


図2. 供試親魚群の体長組成(孵化後22ヶ月)

前後ともGompertzの成長式に適合した。式の諸元を表3.に示し、曲線を図1.に併記する。この群は、孵化後5ヶ月には平均体長8.40cm(平均体重7.83g)であったが、孵化後22ヶ月には平均体長29.19cm(平均体重325.96g)に達した。

また、飼育全期間を通じて、成長に影響を与えるような疾病はなく、飼育開始時(孵化後4ヶ月)から成熟直前(孵化後21ヶ月)までの生残率は93.97%であった。

**成熟** ビワマスは野生状態(琵琶湖)では殆どが2<sup>+</sup>以降で成熟(一部は1<sup>+</sup>で成熟)する(滋賀県水産試験場資料)。また多くの飼育例で1<sup>+</sup>での再生産には成功していない<sup>2)6)9)10)14)15)</sup>中、この飼育群は87%が1<sup>+</sup>(孵化後22ヶ月)で成熟した。この成熟魚の主群、雌雄合計782尾を本研究の親魚とした。その平均体長は28.15cm、不偏分散平方根は2.69cmであった。供試親魚群の孵化後22ヶ月の体長組成を図2.に示す。

尚、性別の平均体長は雌が28.25cm(634尾)、雄が27.71cm(148尾)で、雌が若干大きいものの、性別の体長の平均値の差について、“Welchのt-検定”を実施したところ、

$$t_0 = 1.810 < t_{(184, 0.05)} = 1.973$$

$$< t_{(184, 0.01)} = 2.603$$

となり、成熟親魚の大きさに性差はなかった。

また、雌は1<sup>+</sup>で初めて成熟したが、雄の一部は0<sup>+</sup>で成熟(以後0<sup>+</sup>で成熟した雄を“早熟雄”と記す。)した。この群の性比が1と仮定して推定した早熟雄出現率(放精確認)は、20.67%であった。

**個体選抜試験**

**成長と生残** 各試験魚群の孵化後1.1ヶ月(餌付け開始時)から22ヶ月までの各月の平均体長を、試験区別に図3.図4.図5.に示す。

これらの図に明らかなようにすべての群で親魚群(図1.)と類似の成長パターンを示した。即ち、成長率の高い時期(春季～夏季)、低い時期(秋季～冬季)は親魚群を含めてどの群にも見られた。ただ、試験魚群では成長の変化点は親魚群のそれより早く、孵化後13～14ヶ月に認められた。

親魚群と同じ方法で、時間をt(孵化後の月齢)と

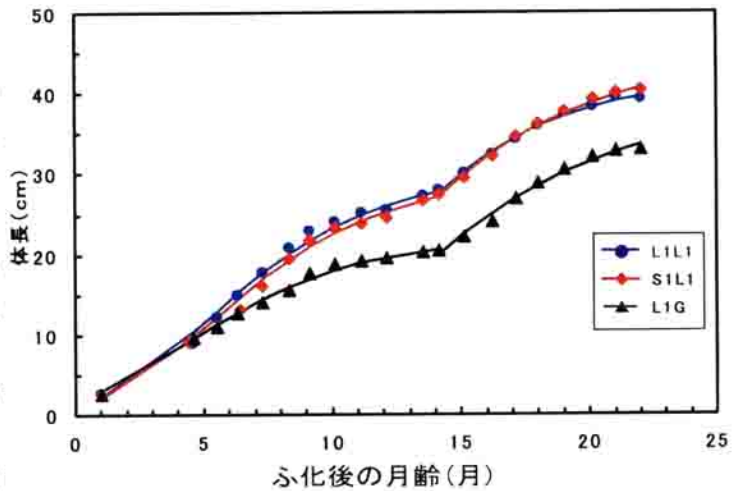


図3. 個体選抜試験区Ⅰの成長(体長)

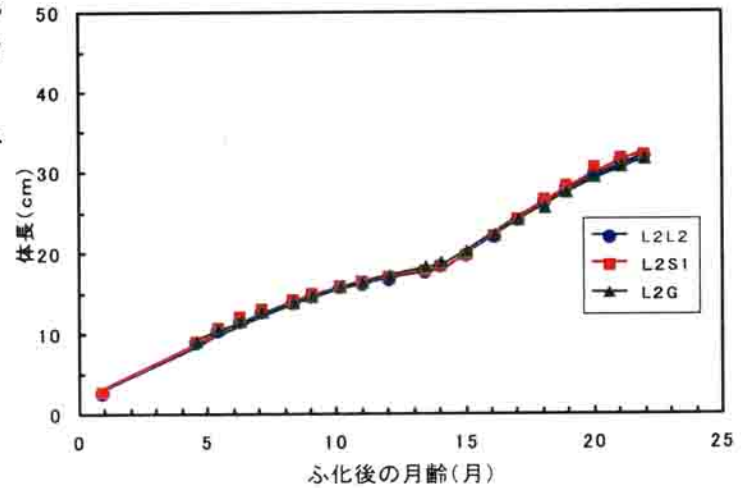


図4. 個体選抜試験区Ⅱの成長(体長)

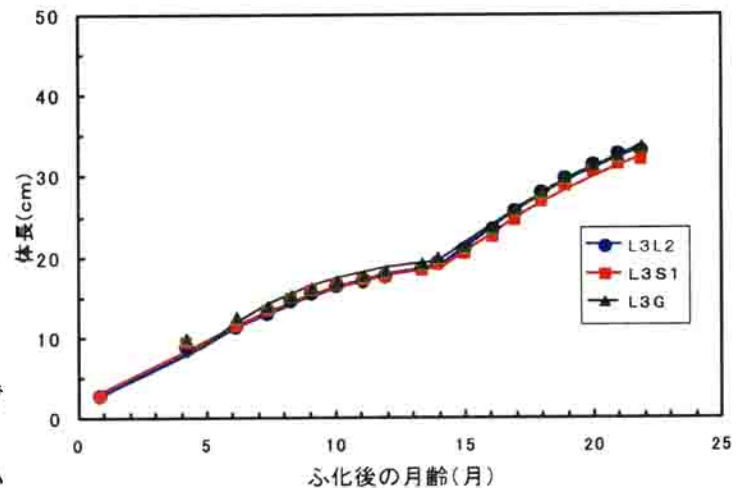


図5. 個体選抜試験区Ⅲの成長(体長)

し、体長(Lt, cm)について変化点の前後別に成長曲線のあてはめを検討したところ、各期間について親魚の場合と同じくGompertzの式が適合した。式の諸

表4. 個体選抜試験における各飼育群の成長曲線式(体長)

$$L_t = L_{\infty} \cdot e^{-\alpha - \lambda t}$$

ゴムペルツ成長曲線:  $L_t = L_{\infty} \cdot e^{-\alpha - \lambda t}$   
 [t: 月齢(ふ化後月数), Lt: 月齢tの体長(cm),  $L_{\infty}$ : 極限体長(cm)]

試験区	飼育群名	tの範囲(月)	$L_{\infty}$ (cm)	$\alpha$	$\lambda$	適合の判定
I	L1L1	1.0~14.1	30.506300	1.261694	0.253286	1%有意
		14.1~22.0	41.880202	2.695632	0.252153	1%有意
	S1L1	1.0~14.1	30.013500	1.287354	0.248811	1%有意
		14.1~22.0	44.069641	2.449684	0.224270	1%有意
	L1G	1.0~14.1	22.245300	1.005941	0.248128	1%有意
		14.1~22.0	37.983157	2.485547	0.206792	1%有意
II	L2L2	1.0~14.1	19.703200	0.907475	0.222476	1%有意
		14.1~22.0	41.426240	2.050581	0.155327	1%有意
	L2S1	1.0~14.1	19.835200	0.872600	0.223548	1%有意
		14.1~22.0	41.248049	2.152393	0.163147	1%有意
	L2G	4.6~14.1	21.969893	0.663946	0.167885	1%有意
		14.1~22.0	42.929266	1.713068	0.131980	1%有意
III	L3L2	1.0~14.1	20.869200	0.967045	0.225554	1%有意
		14.1~22.0	39.907983	2.365461	0.186047	1%有意
	L3S1	1.0~14.1	20.581000	0.902708	0.226394	1%有意
		14.1~22.0	39.892518	2.107830	0.166400	1%有意
	L3G	4.3~14.1	20.204778	1.399747	0.318744	1%有意
		14.1~22.0	43.708189	1.842627	0.145011	1%有意

表5. 個体選抜試験各飼育群の生残率

試験	飼育魚群名	孵化後1.1~21ヶ月(%)	孵化後4~21ヶ月(%)
I	L1L1	81.41	84.41
	S1L1	72.38	79.62
	L1G	65.06	69.21
II	L2L2	86.08	97.62
	L2S1	89.02	97.92
	L2G	71.43	86.95
III	L3L2	84.60	94.00
	L3S1	83.95	85.67
	L3G	83.33	100.00

元を表4.に示し、曲線を各々図3.~図5.に併記する。

次に個体選抜試験の飼育各群の、飼育開始時(孵化後1.1ヶ月)~成熟直前(孵化後21ヶ月)の生残率を一括して表5.に示す。尚、親魚群の生残率と比較するため、孵化後4ヶ月~21ヶ月の生残率も併記する。

試験期間中、セソウ病の兆候がみられた為、薬剤(オキシリン酸)を投与したり、餌止めを余儀なくされた試験区もあったが、期間を通じてみれば、各群の成長に影響を与えるほどの餌止めや斃死はなかった。また、孵化後4ヶ月~21ヶ月の生残率も、親魚群の93.97%と比較すると低い群もあるが、成長や選抜効果に関する群の評価には影響していないものと思われる。尚、斃死の主因は池からの飛び出し、セソウ病および0+早熟雄のミズカビ病であった。

**成熟** 個体選抜各群の孵化後22ヶ月における成熟率を表6.に示す。親魚群の成熟率87%と比較すると試験区IIを除いて親魚群と同程度かまたはやや高い成熟率を示し、特に、成長の優れた(22ヶ月齢の平均体長が33cm以上)L1L1, S1L1, L3L2及びL3Gでは、殆どの個体が成熟した。

試験区IIの3群については、試験区IIIと比較すると、成長は試験区IIIには劣らず、雄親は試験区IIIと共通(L2L2とL3L2, L2S1とL3S1)であるのに、成熟率はL2L2<L3L2, L2S1<L3S1であった。また、雌性発生魚を比較しても成熟率はL2G<L3Gであった。これらの成熟に関する現象については後述する。

尚、雌性発生各群の成熟魚は全て雌で、正常に排卵した(卵の一部は受精させた後、発眼まで確認。)

表6. 個体選抜試験各飼育群の孵化後22ヶ月の成熟率

試験区	飼育群名	飼育個体数	成熟個体数	未成熟個体数	成熟率 (%)
I	L1L1	115	115	0	100.00
	S1L1	38	38	0	100.00
	L1G	90	79	11	87.78
II	L2L2	40	29	11	72.50
	L2S1	46	41	5	89.13
	L2G	20	11	9	55.00
III	L3L2	39	38	1	97.44
	L3S1	36	33	3	91.67
	L3G	11	11	0	100.00

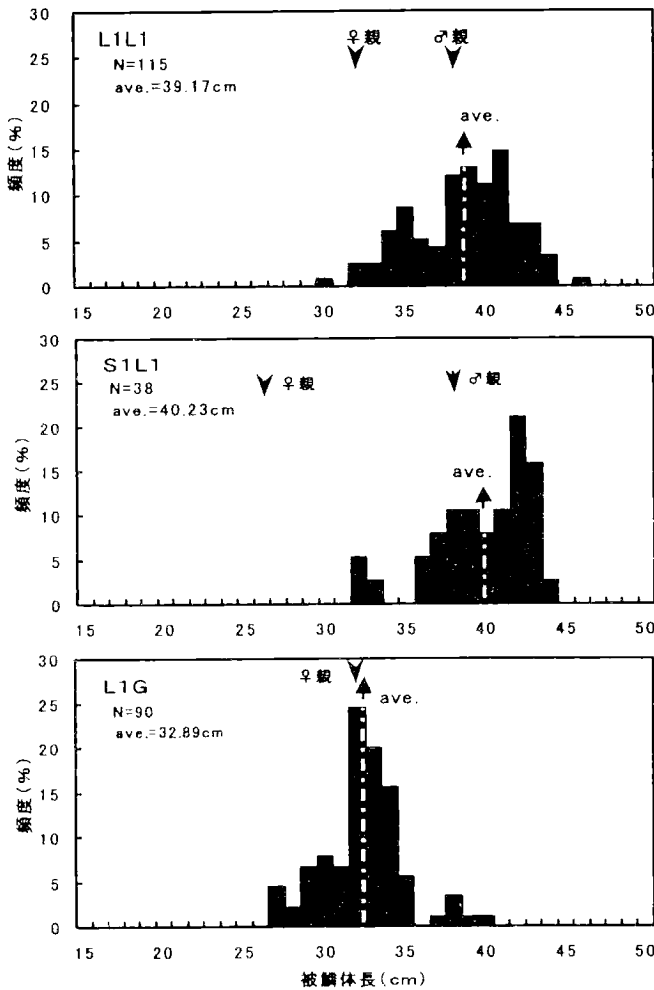


図6. 試験区 I 各群の22ヶ月齢における体長組成

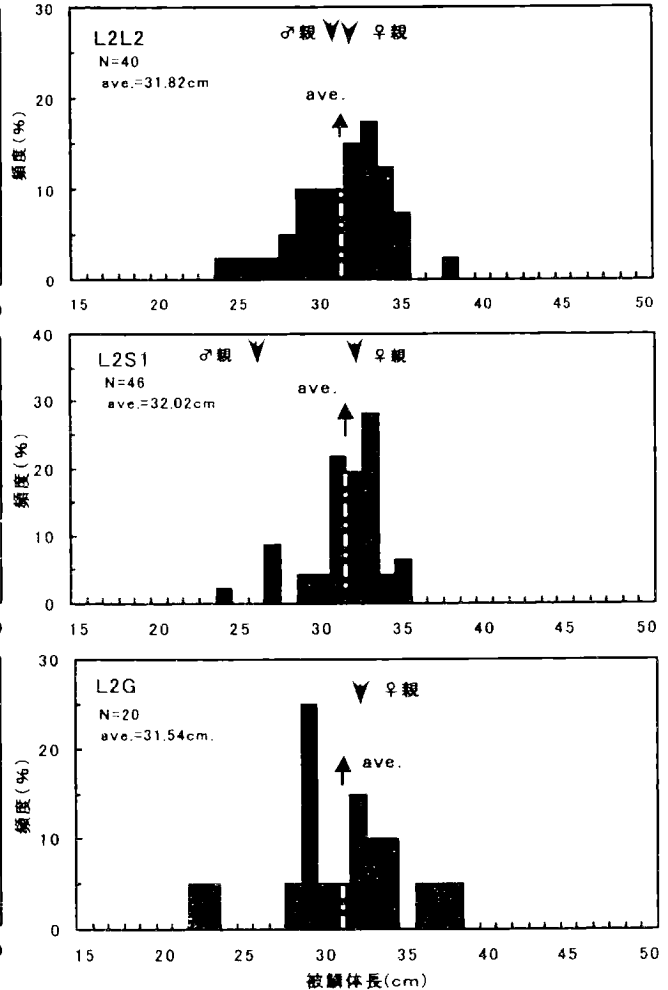


図7. 試験区 II 各群の22ヶ月齢における体長組成

このことで、本研究における雌性発生魚の作出が成功したことを確認できた。

**選抜効果の判定** 選抜効果を判定する為に、孵化後22カ月の各試験魚群の体長組成を、親の体長と共に、図6. 図7. 図8. に示す。これらの図に明らかのように、I～IIIのいずれの試験区においても、通常交配の試験魚の体長は親の雌雄に関わらず大きい方の親の大きさに近い成長をし、雌性発生魚の体長は、

その親に近い成長をする傾向が見られた。そこで、推測統計学的に解析するために、親魚の体長、その子世代各飼育群の平均体長、及びその95%と99%の信頼区間を表7. に示す。雌性発生魚については後述することとし、通常交配について見てみると、試験区 I では、L1L1の雄親の体長38.5cm(>雌親, 32.4cm)は、L1L1の体長平均値の99%信頼区間に一致する。S1L1は両親の体長を上回っているが、雄親(>雌親)

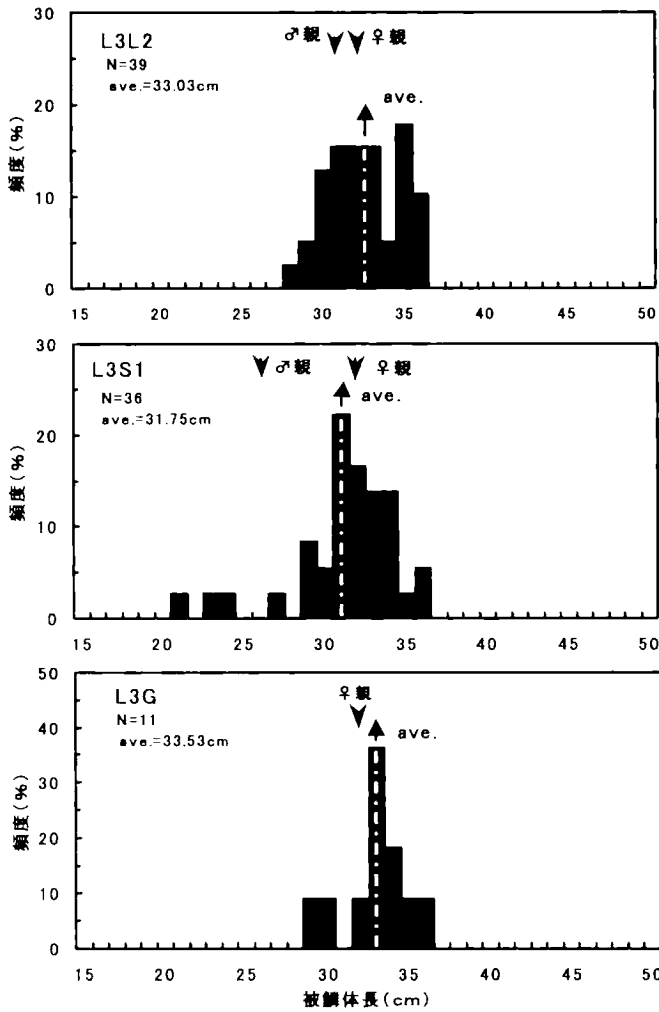


図8. 試験区Ⅲ各群の22ヶ月齢における体長組成

との差はわずかである。

試験区Ⅱについてみると、L2L2の平均体長の99%信頼区間は両親の大きさの差が少ないことから、両親の体長と一致するが、L2S1では平均体長の信頼区間は雌親の体長、32.8cm(>雄親, 26.5cm)と一致する。

試験区Ⅲについては、L3L2、L3S1とも各々の平均体長の95%信頼区間と雌親の体長、32.4cm(>雄親; 31.3cm, 26.5cm)が一致する。

以上を総括すると、通常交配の場合、体長は親の雌雄に関わらず大きい方の親に匹敵する大きさになるといえる。

次に、個体選抜試験各群の成長について、親魚群と比較する。親魚群の成長曲線(図1)と個体選抜試験各群の成長曲線(図3~図5)を比較すると、飼育期間を通じて全群が親魚群より平均体長は大きく、孵化後22ヶ月の平均体長(表7.)も、親魚群の平均体長29.19cmを上回った。

個体選抜試験各群のうち、最も成長の優れたのは、試験区ⅠのL1L1とS1L1であった。孵化後20.1ヶ月にはL1L1は、平均体長が38.05cm(平均体重:1032.49g)、S1L1は、平均体長が39.07cm(平均体重は:1045.09g)となり、これらは共に養殖製品として十分な大きさに達した。さらに、孵化後22ヶ月には、L1L1は平均体長が39.17cm(平均体重:1098.38g)、S1L1は平均

表7. 親魚と試験魚の孵化後22ヶ月の体長

試験区	飼育群名	雌親 cm	雄親 cm	飼育群平均 (95%信頼下限, 上限) cm	(99%信頼下限, 上限)	親子 一致*)
Ⅰ	L1L1	32.4	38.5	39.17	(38.57, 39.76) (38.38, 39.95)	○
	S1L1	26.8	38.5	40.23	(39.22, 41.25) (38.87, 41.59)	
	L1G	32.4	-	32.89	(32.35, 33.43) (32.18, 33.60)	◎ ◎
Ⅱ	L2L2	32.8	31.3	31.82	(30.89, 32.75) (30.57, 33.07)	◎
	L2S1	32.8	26.5	32.02	(31.34, 32.70) (31.12, 32.93)	○ ○
	L2G	32.8	-	31.54	(29.67, 33.41) (28.98, 34.10)	◎ ◎
Ⅲ	L3L2	32.4	31.3	33.03	(32.34, 33.72) (32.11, 33.95)	○ ○
	L3S1	32.4	26.5	31.75	(30.64, 32.86) (30.26, 33.24)	○ ○
	L3G	32.4	-	33.53	(32.19, 34.86) (31.63, 35.43)	◎ ◎

\*) ○: 大きい親の体長と一致。 ◎: 両親(雌性発生魚の場合は雌親)の体長と一致。

表8. 雌性発生魚とその親魚の22ヶ月齢の体長

試験区	飼育群名	雌親魚cm	雌性発生魚平均cm (95%信頼下限値, 上限値)
I	L1G	32.40	32.89 (32.35, 33.43)
II	L2G	32.80	31.54 (29.67, 33.41)
III	L3G	32.40	33.53 (32.19, 34.86)

体長が40.23cm(平均体重:1094.35g)となった。即ち、これら2群は本研究の育種目標に到達した。

**雌性発生魚の成長** 個体選抜各試験区の雌性発生魚とその親魚の体長を、表7. から抜粋して表8. に示す。表8. に明らかなように、いずれの試験区においても雌親の体長と、子である雌性発生魚群の平均体長の95%信頼区間は一致する。即ち、雌性発生魚は体長に関する親の素質を忠実に反映しているといえる。

**個体選抜の効果** 本研究では体長の大きい親個体を基準に、対“大きい個体”と対“小さい個体”の交配を行った結果、大きい親が雄か雌かに関わらず、子の平均体長は大きい親の方に近い値を示した。

一般に成長に関する形質は量的形質で、多くの遺伝子が関与するといわれる<sup>4)20)</sup>が、本研究の結果は、1つあるいは少数の遺伝子の影響が大きいように、また、体長が大きいことが優性、小さいことが劣性であるかのように見える。即ち、成長を促進する優性の主働遺伝子か、あるいは比較的少数の(あるいは連鎖した)遺伝子群が存在するように見える。

ゲ・エス・キルビ<sup>20)</sup>は量的形質の遺伝に関する章(第4章)の中で「選抜される形質に影響を及ぼす相互に作用する遺伝子の中から、その強力な効果によって、二の遺伝子座がしばしば分離される。」と述べている。

一般的には、体長の遺伝に関与するのが、「効果の小さい遺伝子群が同義的に補足し合って形質の発現に関与する<sup>21)</sup>」ポリジーンであるが、本研究のこの結果は、それらの働きの強弱のある場合を示唆すると考えられる。ただし、これは平均値の比較による推論であり、各群内には大きさの連続的な(正規分布的)ばらつきがあるわけで、上記推論は体長が量的形質であることを否定するものではない。

### 集団選抜試験

**成長と生残** 大型選抜群、無選抜群、および天然群の孵化後1.1ヶ月から22ヶ月までの毎月の平均体長を図9. に示す。

図9. に明らかなように、すべての飼育群で供試親魚群や個体選抜試験と同様、春季～夏季の高成長と秋季～冬季の低成長という成長パターンを示した。ただ、成長の変化点は親魚群(孵化後16ヶ月)より早く、大型選抜区、無選抜区、天然群とも概ね14ヶ月付近に認められた。各群について、時間を $t$ (孵化後の月齢)とし、体長を $L_t$ (cm)として、変化点の前後別に成長式のあてはめを検討したところ、いずれの群も、変化点の前後ともGompertzの式が適合した。各成長式の諸元を表9. に示し、これらの成長曲線を各々図9. に併記する。孵化後1.1ヶ月には大型選抜群が平均体長2.25cm(平均体重0.14g)、無選抜

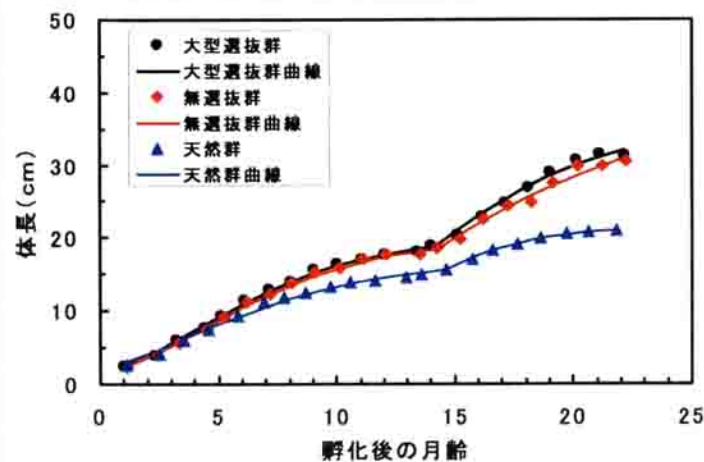


図9. 集団選抜試験各区の成長



表9. 集団選抜試験における各飼育群の成長曲線式(体長)

$$L_t = L_{\infty} \cdot e^{-\alpha - \lambda t}$$

[t: 月齢(ふ化後月数), L<sub>t</sub>: 月齢tの体長(cm), L<sub>∞</sub>: 極限体長(cm)]

飼育群名	tの範囲(月)	L <sub>∞</sub> (cm)	α	λ	適合の判定
無選抜群	1.1~14.2	20.221300	1.044599	0.239494	1%有意
	14.2~22.2	38.866162	1.844821	0.149553	1%有意
大型選抜群	1.0~14.0	20.675600	0.996913	0.236178	1%有意
	14.0~22.1	36.693337	2.447112	0.200262	1%有意
天然群	1.1~14.6	17.028000	0.796343	0.214373	1%有意
	14.6~21.8	21.613587	3.864855	0.339019	1%有意

表10. 集団選抜試験各群の22ヶ月齢での成熟率

飼育群名	飼育個体数	成熟個体数	未成熟個体数	成熟率 (%)
大型選抜群	160	144	16	90.00
無選抜群	178	153	25	85.96
天然群	142	90	52	63.38

群が平均体長2.11cm(平均体重0.10g)で、大型選抜群がやや大きく、その後も大型選抜群の平均体長は、各月において、終始、無選抜群を上回り、その結果、孵化後22ヶ月には大型選抜群が平均体長31.21cm(平均体重396.64g)、無選抜群が平均体長30.40cm(平均体重386.66g)となった。親魚群の孵化後22ヶ月の平均体長が29.19cm(平均体重325.96g)であったから、両群とも親魚群の大きさを上回ったことになる。

また、天然群の成長は、親魚群を含めたこれら継代魚と比較すると飼育期間を通じて終始劣り、孵化後22ヶ月でも平均体長20.93cm(平均体重108.41g)であった。

次に、生残率について述べる。集団選抜試験各群の孵化後4ヶ月~21ヶ月の間の生残率は、大型選抜群が78.05%、無選抜群が82.84%で、親魚群の93.97%より低かった。しかし、これらの生残率の違いが成長や選抜効果の判定に影響することは無いと判断した。尚、天然群の孵化後5ヶ月~21ヶ月の生残率は、83.91%であった。

**成熟** 集団選抜試験各群の孵化後22ヶ月の成熟率を表10.に示す。大型選抜群(90.00%)や無選抜群(85.96%)の成熟率は親魚の成熟率(87%)と大きな違いはなかった。

成熟率を成長との関係を見ると、平均体長の最も大きい大型選抜群の成熟率は無選抜群より高く、最も小さい天然群のそれは両者よりかなり小さかった(63.38%)。即ち、体長が大きい群の方が成熟率が高

い傾向が見られた。

**選抜効果の判定** 供試対象親魚群(図2に同じ.)、大型選抜親魚群および大型選抜親魚の子群の孵化後22ヶ月の体長組成を図10.に示す。

また、供試対象親魚群(図2.に同じ)、無選抜親魚群、および無選抜親魚の子群の孵化後22ヶ月の体長組成を図11.に示す。

大型選抜群の体長について、常法<sup>4)21)22)</sup>により実現遺伝率 $h^2$ を計算すると、

親世代の集団平均(孵化後22ヶ月)が、

$$P_o = 28.15\text{cm}$$

選択した親個体群の平均(孵化後22ヶ月)が、

$$P_s = 31.20\text{cm}$$

子世代の平均(孵化後22ヶ月)が、

$$P_i = 31.21\text{cm}$$

であるから、選択差 $\Delta P$ と選択反応 $\Delta G$ はそれぞれ、

$$\text{選択差} : \Delta P = P_s - P_o = 3.05\text{cm}$$

$$\text{選択反応} : \Delta G = P_i - P_o = 3.06\text{cm}$$

となる。

ここで、実現遺伝率 $h^2$ は、

$$\Delta G = h^2 \cdot \Delta P$$

の関係にあるから、実現遺伝率 $h^2$ は、

$$h^2 = \Delta G / \Delta P \\ = 3.06 / 3.05 \approx 1.00$$

となる。

即ち、この結果からいえば、体長に対する集団選抜の遺伝的要因は非常に大きいといえる。

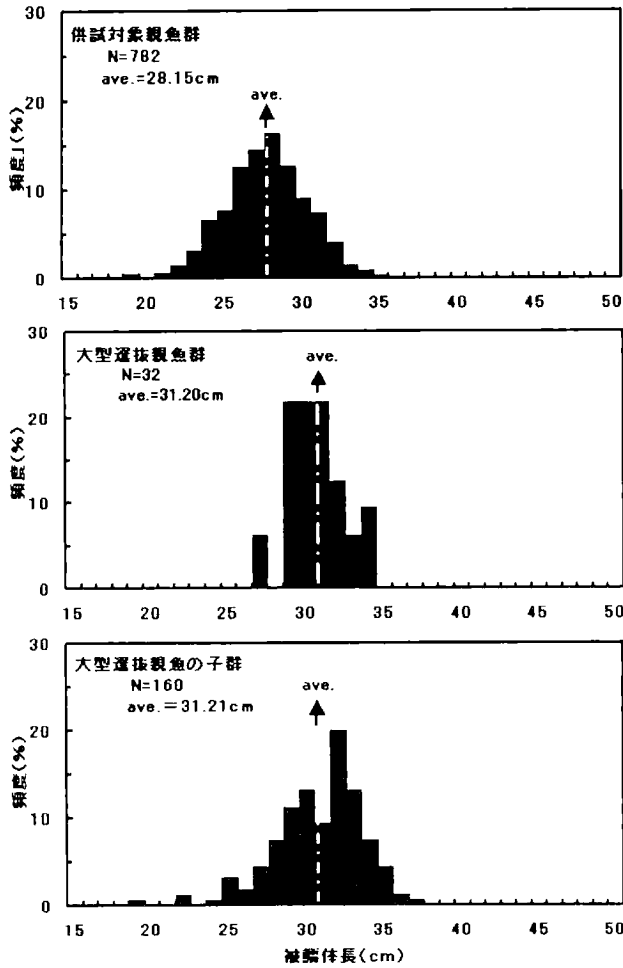


図10. 大型選抜群の22ヶ月齢の体長組成

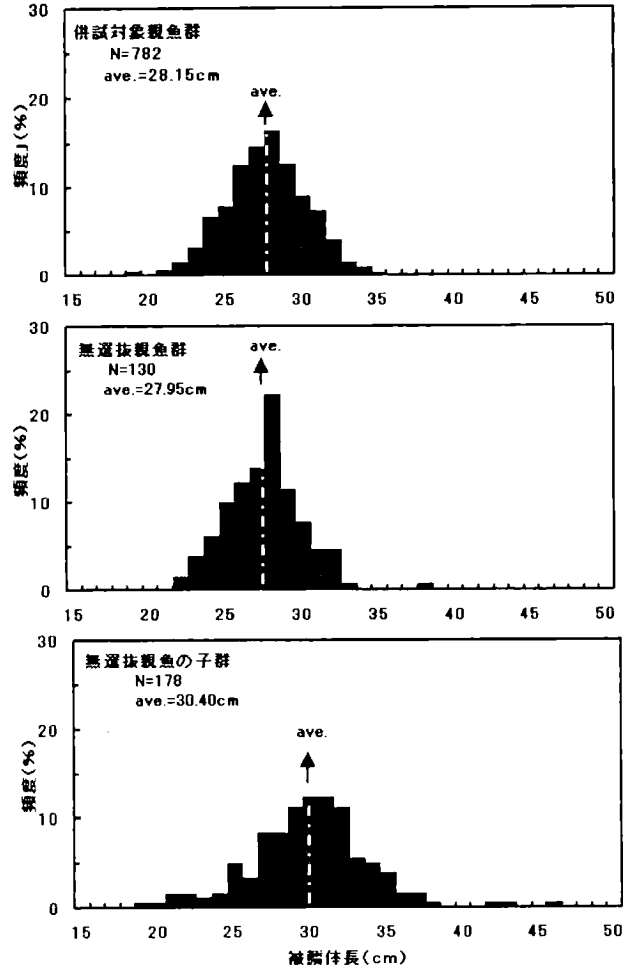


図11. 無選抜群の22ヶ月齢の体長組成

一方、図11.にも明らかなように、無選抜群についても子群の体長が親魚群より大きくなった。無選抜群の選択差と選択反応はそれぞれ、  
 選択差： $\Delta P = -0.2\text{cm} \approx 0\text{cm}$

( $\approx 0$ ：供試対象親魚群と無選抜親魚群の平均体長の差の検定---等分散性の“F-検定”で有意差がなく、“Studentのt-検定”---により、  
 $t_0 = 0.75 < t_{0.05} = 21.96$ で、有意差無し。)

選択反応： $\Delta G = 2.25\text{cm}$   
 ということになる。

従って、大型選抜の効果判定には、この現象も考慮する必要がある。これについて次項に述べる。

**集団選抜の効果** 集団選抜試験の結果、大型親魚選抜による体長の実現遺伝率は  $h^2 \approx 1$ であった。

ところが前述のように、無選抜群の平均体長も、供試親魚の平均体長および無選抜親魚群の平均体長より大きくなった。従って、集団選抜の効果は大型選抜群の大型化と無選抜群の大型化の差ということ

になる。

そこで、選抜しなくても大きくなる部分を除いた、選抜による効果相当する部分を、補正実現遺伝率： $h'^2$ として次のように算出した。

供試親魚群の集団平均(孵化後22ヶ月)：

$$P_0 = 28.15 \text{ cm}$$

大型選抜親魚群の平均(孵化後22ヶ月)：

$$P_s = 31.20 \text{ cm}$$

無選抜親魚群の平均(孵化後22ヶ月)：

$$P_N = 27.95 \text{ cm}$$

大型選抜群の平均(孵化後22ヶ月)：

$$P_{s1} = 31.21 \text{ cm}$$

無選抜群の平均(孵化後22ヶ月)：

$$P_{N1} = 30.40 \text{ cm}$$

よって、補正選択差 $\Delta P'$ 、補正選択反応 $\Delta G'$ は、

$$\begin{aligned} \Delta P' &= (P_s - P_0) - (P_N - P_0) \\ &= P_s - P_N \\ &= 3.25 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta G' &= (P_{S1} - P_0) - (P_{N1} - P_0) \\ &= P_{S1} - P_{N1} \\ &= 0.81 \text{ cm}\end{aligned}$$

従って、補正実現遺伝率  $h'^2$  は、

$$\begin{aligned}h'^2 &= \Delta G' / \Delta P' \\ &= 0.81 / 3.25 \\ &\approx 0.25\end{aligned}$$

となり、 $h'^2$  が集団選抜による効果ということになる。言い換えれば、

実現遺伝率と補正実現遺伝率の差：

$$h^2 - h'^2 \approx 0.75$$

は、選抜しなくても大きくなる部分で、これが無意識的選択<sup>4)</sup>とされる現象に関係すると思われる。

従って以上のことから、人為管理下で継代を繰り返すと選抜しなくても大きくなる。大型親魚を選抜すると更に大きくなるといえる。

### 選抜に伴う形質の変化

**早熟雄の出現率および22ヶ月齢での成熟率** 供試親魚群の早熟雄出現率は、前述したように、20.67% (10ヶ月齢の平均体長：15.77cm)であった。以下に、個体選抜試験、集団選抜試験の各群の10ヶ月齢の平均体長と早熟雄出現率(性比1と仮定したときの採精可能個体の割合；孵化後10ヶ月～12ヶ月の各月測定時の平均値)を体長の大きい順に列記する。

L1L1：23.84cm, 97.33%、S1L1：22.99cm, 92.61%、L3S1：16.34cm, 27.91%、大型選抜群：16.22cm, 22.67%、L3L2：16.17cm, 8.51%、無選抜群：15.76cm, 30.00%、L2S1：15.56cm, 12.00%、L2L2：15.27cm, 4.35%、天然群：13.19cm, 24.00%。

以上のように、全体的には成長の良い群ほど早熟雄の出現率は高く、特にL1L1とS1L1は雄の殆どの個体が早熟雄となった。ただ、天然群は平均体長が最小にも関わらず、早熟雄出現率は集団選抜試験の他区と遜色ないほど高かった。

尚、これらの早熟雄は、池からの飛び出しとミズカビ病によるごく一部の斃死を除いて、殆どの個体が翌年まで生存し、22ヶ月齢で再び成熟した。

次に、22ヶ月齢での群成熟率について述べる。個体選抜試験各群では表6.と表7.を参照すると、22ヶ月齢の平均体長が33.5cm以上の群(L1L1, S1L1, L3G)では、全個体が成熟し、その他の群でも、全体的には成長の優れた群ほど高い傾向があった。また、集

団選抜試験の各群についても、22ヶ月齢の平均体長と成熟率は、大型選抜群が31.21cm, 90.00%、無選抜群が30.40cm, 85.96%、天然群が20.93cm, 63.38%で、やはり成長の良い群ほど高い傾向があった。

以上のように、早熟雄の出現率も、2歳(22ヶ月齢)での成熟率も、全体的には成長の良い群ほど高いといえる。

しかし、これら成熟に関する形質の発現に個体差または、個体の遺伝的要因の存在を思わせる事項があり、それについて述べる。

まず、早熟雄について述べる。孵化後10カ月の平均体長に大差の無い個体選抜試験区ⅡとⅢを比較すると、母親は共通(FL2, FL3)であるのに、父親にMS1を用いた群(L2S1, L3S1)が、ML2を用いた群(L2L2, L3L2)より雄の0<sup>+</sup>成熟率が高い。しかも父親の大きさはMS1(体長：26.5cm) < ML2(体長：31.3cm)である。このことから、早熟雄の出現率は、大きさ以外に親の成熟に関する素質の影響もあると考えられた。

次に、2歳での成熟率について述べる。個体選抜試験区Ⅱの3群については、前述のように成長は試験区Ⅲの3群には劣らず、雄親は試験区Ⅲと共通(L2L2とL3L2, L2S1とL3S1)であるのに、成熟率はL2L2 < L3L2, L2S1 < L3S1である。雌性発生魚を比較してもL2G < L3Gであることからこの2歳での成熟率の低さは試験区Ⅱの供試母親FL2の成熟に関する素質に起因するものと推定できる。

**孕卵数・卵重の変化** 個体選抜試験、集団選抜試験において、選抜の効果により大型化が認められたが、大型化に伴い、再生産関連形質にも変化が見られた。即ち、孕卵数についてみると、親魚群の平均孕卵数が524粒/尾(雌親の平均体長：28.25cm)であったのに対して、集団選抜試験の大型選抜群では825粒/尾(雌親の平均体長：33.31cm)、無選抜群でも839粒/尾(雌親の平均体長：32.60cm)と平均孕卵数が増加した。個体選抜試験区では更に顕著で、養殖魚として実用的成長をしたL1L1では1677粒/尾(雌親の平均体長：41.06cm)、S1L1では1512粒/尾(雌親の平均体長：41.13cm)と親魚の大型化に伴い、大きく増加した。また、発眼卵の平均卵重についてみると、親魚群が80mg/粒に対し、集団選抜試験の大型選抜群は82.38mg/粒、無選抜区は86.50mg/粒、個体選抜試験区のL1L1では107.35mg/粒、S1L1では109.25mg/粒で、雌親が大きいほど卵も重い傾向が見られた。即

表11. 孵化後4ヶ月と22ヶ月の平均体長に関する魚群間の順位相関係数

試験区	I			II			III		
	L1L1	S1L1	L1G	L2L2	L2S1	L2G	L3L2	L3S1	L3G
4ヶ月体長	8.57	8.72	9.48	8.36	8.63	8.90	8.48	9.09	9.50
順位	7	5	2	9	6	4	8	3	1
22ヶ月体長	39.17	40.23	32.89	31.82	32.02	31.54	33.03	31.75	33.53
順位	2	1	5	7	6	9	4	8	3
順位数差 $d_i$	5	4	-3	2	0	-5	4	-5	-2
$d_i^2$	25	16	9	4	0	25	16	25	4

計算：

$$\begin{aligned} \text{Spearmanの順位相関係数 } r_s &= 1 - 6 \cdot \sum d_i^2 / n \cdot (n^2 - 1) \\ &= 1 - 6 \cdot 124 / 9 \cdot (81 - 1) \\ &= -0.033 \end{aligned}$$

ち、選抜によって、体長が大きくなったことに伴い、  
 孕卵数が増加し、卵重も増加したといえる。

**結果解析において懸念された事項に関する検討**

**初期成長がその後の成長に及ぼす影響** 成長を比較する研究においては、初期成長の差が、その後の成長に大きく影響する可能性が考えられる<sup>17)</sup>。特に、本研究の個体選抜試験では、孵化後4ヶ月までアクリル製60リットル水槽で試験魚群別に単独飼育し、その後試験区毎に混養した。従って、選抜効果の結論への初期成長の影響を検討する必要がある。初期成長の指標として、単独飼育の終了時点である孵化後4ヶ月の体長と、混養飼育の最終段階の孵化後22ヶ月の体長とを使って、試験魚群の平均体長の順位について(大きい順)の相関を検討した。結果は、表12. に示すように、Spearmanの順位相関計数  $r_s$  は、

$$r_s = -0.033 \quad (=0)$$

で、ほぼ無相関という結果を得た。

更に、この  $r_s$  について、

帰無仮説  $H_0$  : 孵化後4ヶ月と孵化後22ヶ月の体長は独立である。

対立仮説  $H_1$  : 孵化後4ヶ月と孵化後22ヶ月の体長との間には相関がある。

の仮説検定<sup>23)</sup>を行ったところ、

$$D = \sum d_i^2 = 124 < D_{0.10} = 192 < D_{0.05} = 204$$

となり、 $H_0$ は棄却されなかった。

以上のように、各群の体長は初期の体長に影響されていないと結論づけられた。

**混養の影響** 本研究においては、孵化後4ヶ月以

降、試験区毎に同一水槽で混養飼育を行った。この場合、混養した群の成長が、相互に影響し合う可能性がある。そこで、試験区 I のL1Gの一部を孵化後4ヶ月以降も混養せず、別の水槽で単独飼育した。その孵化後22ヶ月の体長組成を試験区 I のL1G (L1L1, S1L1と混養)と並べて図12. に示す。図に明らかなように、単独飼育群と混養群の体長組成は類似する。

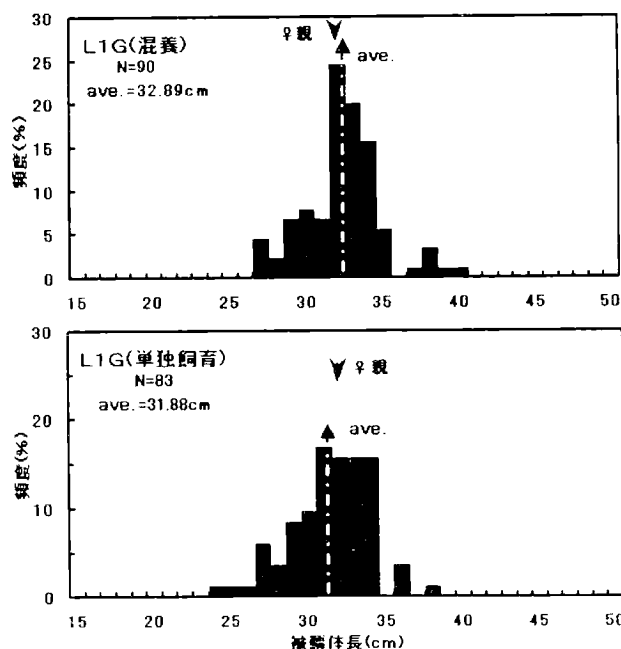


図12. 22ヶ月齢における混養群と単独群の体長組成

各々の平均体長は31.88cmと 32.89cmで、混養群が若干大きい。これら平均体長の差の検定(等分散性の“F-検定”で有意差がない為、“Studentのt-検定”による.)を行ったところ、

$$t_0 = 2.573 < t_{0.01} = 2.605$$

表12. 孵化後22ヶ月における成熟個体の性別体長比較

試験区	飼育群名	雄平均	(95%信頼下限, 上限)	雌平均	(95%信頼下限, 上限)	雌雄*) 一致	
		cm	(99%信頼下限, 上限)	cm	(99%信頼下限, 上限)		
個体選抜試験	I	L1L1	37.90	(37.05, 38.75) (36.77, 39.03)	40.70	(40.09, 41.32) (39.88, 41.52)	雄<雌 雄<雌
		S1L1	39.58	(37.99, 41.17) (37.42, 41.75)	41.13	(40.05, 42.20) (39.64, 42.61)	○ ○
	II	L2L2	31.37	(30.05, 32.69) (29.54, 33.20)	33.64	(32.18, 35.10) (31.61, 35.68)	○ ○
		L2S1	32.18	(31.41, 32.95) (31.14, 33.22)	32.69	(31.50, 33.89) (31.02, 34.36)	○ ○
	III	L3L2	33.34	(32.10, 34.58) (31.62, 35.06)	32.87	(31.95, 33.78) (31.62, 34.11)	○ ○
		L3S1	32.66	(30.97, 34.36) (30.26, 35.07)	32.46	(31.66, 33.26) (31.37, 33.55)	○ ○
集団選抜試験	無選抜群	30.44	(29.88, 31.01) (29.69, 31.19)	32.22	(31.38, 33.05) (31.10, 33.33)	雄<雌 ○	
	大型選抜群	31.23	(30.70, 31.77) (30.52, 31.94)	32.18	(31.68, 32.69) (31.52, 32.85)	○ ○	
	天然群	22.02	(21.51, 22.53) (21.34, 22.70)	22.50	(21.64, 23.36) (21.34, 23.66)	○ ○	

\*) ○ : 雌雄の体長に差がない。

で、危険率1%では両者に差は認められなかった。即ち、成長に対する混養の影響はなかったといえる。

**成長の雌雄差および雌性発生魚との比較** 本研究では、成長過程や選抜効果の判定に際して、飼育各群に内在する性差については、内包させたまま群の特徴として検討してきた。さらに、雌性発生魚と雌雄交配の試験魚との比較も行ってきた。

しかし、選抜効果の判定や雌性発生魚との比較をする場合、0+早熟雄の出現時期のような雌雄の成長の差を無視できない場合がありうる。

飼育ビワマスの場合、筆者が別報<sup>16)</sup>で述べたように、早熟雄は10ヶ月齢までは群内での成長が優ったが、その後の成長はむしろ劣り、孵化後22ヶ月の時点では大きさの雌雄差はなくなった。供試親魚群でも、前述のように22ヶ月齢では統計的に体長の雌雄差は見られなかった。

そこで、試験区各群についても、選抜効果の判定を行った孵化後22ヶ月時点の体長の雌雄差を性別の平均体長の信頼区間を比較することによって検討した。

結果は表12. に示すように、個体選抜・集団選抜合わせて9群中7群(危険率1%では8群)で22ヶ月齢における体長に雌雄差はなく、差のあった群でも、その差はごくわずかで、系統間の比較や雌性発生魚との比較に影響するほどの差ではない。

従って、22ヶ月齢時点で行った本研究の選抜効果の判定には雌雄差は影響なかったと結論できる。

## ま と め

### 飼育したビワマスの成長

本研究の飼育各群の成長の結果から見いだされる飼育ビワマスの成長の特徴について述べる。

本研究で飼育した親魚群、個体選抜の各飼育群、集団選抜の各飼育群、および天然群は、いずれも同様の成長パターンを示した。即ち、秋季～冬季の低成長と春季～夏季の高成長である。その結果、冬～春に成長の変化点が存在し、変化点の前後はそれぞれ、Gompertzの成長式が適合した。即ち、飼育群間の成長差は各時点における成長率の差といえることができる。尚、本研究を実施した滋賀県醒井養鱒場の飼育水は湧水で、飼育水温も年間を通じて12±0.5℃でほぼ一定であり、水温の季節変化によるとは考え難い。

また、このような成長のパターンは、過去のビワマスの飼育研究<sup>2) 5) 6) 7) 8) 9) 10) 11) 12) 14) 15)</sup>と比較してみると、成長曲線をあてはめた例は少ないものの、本種の成長に共通するものと思われる。さらに、近縁の*Oncorhynchus*属のベニザケ<sup>24)</sup>、*O. nerka*、アマゴ<sup>2) 14)</sup>、サクラマス<sup>25) 26) 27)</sup>、*O. masou masou*、ニジマス<sup>28)</sup>に

も類似の成長パターンが見られる。特に、本研究と同じく滋賀県醒井養鱒場で小林<sup>28)</sup>が実施したニジマスの2倍体と3倍体の5ヶ年に亘る比較飼育において、文中に直接の記述はないものの、成長を表す図に同様の季節的周期がみられることは興味深い。

### 個体選抜と集団選抜の関係

本研究では、個体選抜試験と集団選抜試験を実施し、各々前述の結果を得た。ここでは、個体選抜と集団選抜の関係について検討する。

まず、集団選抜の構成単位が選抜された1対の雌雄(番)と考えた場合について述べる。集団選抜試験における子集団の体長変化が、親の選抜効果による大型化の部分と、親を選抜しなくても大型化する部分(無選抜群が大型化した部分)とからなることは前述したが、この無選抜群が大型化する現象も含めた集団選抜における子集団の大型化について、個体選抜試験の結果から次の様な解釈ができる。個体選抜試験で、子は大きい親に近い成長を示すという結果を得た。集団を個々の番の集合とみれば、それぞれの番の子は大きい親に近い成長を示すわけで、その集合である子集団の平均体長は、親集団より大きい方へ動くことになる。

次に、これとは逆に個体選抜の集合が集団選抜に相当すると考えた場合について述べる。

個体選抜試験各群を合わせて、1つの集団と見なし(これを「仮想集合群」とする.)、その実現遺伝率を機械的に計算してみると、結果は表13.のようになる。尚、仮想集合群の親は個体選抜試験の親を延べ数として計算している。さて、表13.に示すように、仮想集合群の実現遺伝率は $h^2=1.488$ と1を大きく越えた。ここで、各群の実現遺伝率をみると、大親と小親の大きさに差がある群ほど値は1を大きく越え、親の大きさに差が無い群と、雌性発生魚群ではその値は1に近づいていることがわかる。即ち、仮想集合群の実現遺伝率のうち、1を超える部分( $1.488-1=0.488$ )は、個々の番における、両親の大きさの差が子に影響した(子が大きい親に近い大きさになる)結果の部分になる。実際、仮想集合群の平均体長34.00cmは、個体選抜各群の大きい親の平均体長33.89cmとほぼ一致する。すなわち、各番の子が大きい親に近い体長になることが、集団の平均体長を大きい方へシフトさせたことになる。

以上のことを総括すると、集団選抜の構成単位が個体選抜と考えた場合と、個体選抜の集合が集団選抜と考えた場合とは矛盾せず、「子が両親のうち大

表13. 個体選抜試験各飼育群の実現遺伝率(機械的計算値)

群名	平均体長	親平均体長(小親, 大親)	実現遺伝率	親世代の集団平均 Po=28.15cm
	P <sub>i</sub> (cm)	P <sub>s</sub> (cm)	h <sup>2</sup>	
L1L1	39.17	35.45 (32.4, 38.5)	1.509	
S1L1	40.23	32.65 (26.8, 38.5)	2.683	
L1G	32.89	32.40 (32.4, 32.4)	1.115	
L2L2	31.82	32.05 (31.3, 32.8)	0.941	
L2S1	32.02	29.65 (26.5, 32.8)	2.575	
L2G	31.54	32.80 (32.8, 32.8)	0.729	
L3L2	33.03	31.85 (31.3, 32.4)	1.318	
L3S1	31.75	29.45 (26.5, 32.4)	2.764	
L3G	33.53	32.40 (32.4, 32.4)	1.265	
	P' <sub>i</sub> *2)	P' <sub>s</sub> *3)	h <sup>2</sup> *6)	
仮想集合群*1)	34.00	32.08 (30.27*4), 33.89*5)	1.488	

\*1) 全個体選抜試験飼育群を1つの集団選抜群とみなした時の仮想集合群。個体選抜各群の個体数に差があるが、重み付けは行わず、各群の単純平均を以て仮想集合群とした。

\*2)  $P'_i = (\sum P_i) / 9$ .

\*3)  $P'_s = (\sum P_s) / 9$ .

\*4) 小親の平均値。

\*5) 大親の平均値。

\*6)  $h^2 = (P'_i - P_o) / (P'_s - P_o)$

表14. 実用的成長をする2群の特徴

飼育群名	L1L1	S1L1
孵化後1ヶ月の平均体長(cm)	2.38	2.33
孵化後1ヶ月の平均体重(g)	0.17	0.14
孵化後22ヶ月の平均体長(cm)	39.17	40.23
孵化後22ヶ月の平均体重(g)	1098.38	1045.09
生残率(孵化後1ヶ月～22ヶ月,%)	81.41	72.38
雄の満1歳成熟率(%)	97.33	92.61
満2歳群成熟率(%)	100	100
成熟雌の平均孕卵数(粒)	1677	1512
獲得した発眼卵の平均重量(mg)	107.35	109.25

きい方の親に近い体長になる。」ことによって、大型親を集団で選抜した場合は選抜の効果以上に子集団の体長が大きい方へずれ、親を選抜しない場合にも子集団の体長が大きい方へずれる現象が起きているということになる。

以上のことを念頭に、ビワマスの継代と体長の変化の関係を概観する。前提として、世代間の飼育条件が一定であることが必要である。筆者自身がほぼ同一条件で飼育したビワマスの孵化後22ヶ月の平均体長を飼育継代順に列記する。本研究の天然群(飼育第1代)が20.93cm、筆者別報<sup>16)</sup>による飼育第2代魚が26cm、本研究の親魚群(推定第5代に相当)が29.19cm、そして試験魚群の無選抜群(推定第6代に相当)が30.40cmと、継代数が大きくなるほど、孵化後22ヶ月の体長が大きい方へシフトしている。上記の解釈が成立するならば、このことの説明は容易である。そして、継代飼育による家魚化は、こういう現象によって進行するのかもしれない。

### ビワマスの大きさに関する選抜方法

本研究の結果、個体選抜の組み合わせの中に養殖魚として実用的成長をする系統が出現した。一方、集団選抜試験においても成長に関して遺伝率がかなり高いことが示唆された。和田<sup>21)</sup>及び藤尾・木島<sup>4)</sup>は「遺伝率の高い形質は人為選抜の効果が早くあらわれ、個体選抜に向いている・・・」と述べており、本研究もこのことを支持する結果となった。即ち、本研究のビワマスについての結果は、体長が遺伝性の高い形質であることを示唆しており、選抜方法別では、集団選抜より個体選抜が有効であることを示している。

### 作出した高成長ビワマスの評価

本研究の個体選抜試験の中から、育種目標の成長を達成した2群が出現した。試験区IのL1L1とS1L1である。ビワマスの商品サイズが600g以上であるから、これら2群は孵化後16～17ヶ月頃から商品サイズとなったことになる。更に、ビワマスの商品価値が最も高い夏季には、20.1ヶ月齢でL1L1は平均体長38.05cm、平均体重1032.49g、S1L1は平均体長39.07cm、平均体重1045.09gとなって、養殖製品としての育種目標を達成している。更に、孵化後22ヶ月には、L1L1は平均体長39.17cm、平均体重1098.38g、S1L1は平均体長40.23cm、平均体重1094.35gとなって、再生産時期としての育種目標も達成している。

L1L1やS1L1が品種として固定できれば、孵化後16ヶ月以降、市場価値のある養殖ビワマスが出荷できることになる。これら2群の特徴を、本研究で扱った項目について整理し、表14.に示す。両群は父親が共通(ML1)で、半兄弟の関係にあることにもよるのであろうが、両群の特徴には大きな違いがなく、優劣はつけ難い。

飼育池が十分でない現状から、どちらかを選択するとすれば、雌親の体長について、L1L1(雌親:FL1)がS1L1(雌親:FS1)より大きいことを根拠に、潜在的な素質の点でL1L1が有利と推察する。

本研究の成果としてL1L1群を「養殖1号」と命名し、その製品サイズ魚(19ヶ月齢)と成熟魚(22ヶ月齢)を図15.に示して稿を閉じる。

追記：2003～2005年に、滋賀県醒井養鱒場で飼育し、2005年10月に親魚となる高成長系ビワマスはこの「養殖1号」の6代後の継代魚である。



図15. 個体選抜により作出したL1L1群「養殖1号」

上: 孵化後19ヶ月の雌

体長39.0cm

体重948g

(1993年7月14日撮影)



中: 孵化後22ヶ月の雌(成熟)

体長44.7cm

体重1484g

(1993年10月19日撮影)



下: 孵化後22ヶ月の雄(成熟)

体長44.7cm

体重1621g

(1993年10月19日撮影)

※) 混養他群との区別のため、脂鱗を切除してある。

## 謝 辞

本研究を実施するにあたり、当時の滋賀県醒井養鱒場職員、西出一彦、江竜勝一、坂本サカエの各氏には飼育技術全般について御指導を仰いだ。中村信子氏には、飼育管理や測定を補助していただいた。

また、当時、水産庁養殖研究所日光支所で育種研究室長の職にあられた岩田宗彦博士にはデータ解析にあたり有益な御助言を、滋賀県水産課の藤岡康弘博士には執筆過程で激励と御指導を賜った。

各氏に対して、深甚なる感謝の意を表す。

## 摘 要

- 琵琶湖の固有魚ビワマスの養殖品種化(人為管理下での大型化)を目的に、滋賀県醒井養鱒場の推定第5代の継代飼育ビワマスを親魚として、被鱗体長(以下、体長)を選抜形質とした個体選抜と集団選抜による育種研究を行った。
- 供試親魚群は、孵化後22ヶ月で平均体長29.19cm、平均体重325.96gに成長し、群の87%が成熟した。

- 個体選抜において、大型親魚と小型親魚の交配では、子は大きい方の親に近い体長に成長した。
- 雌性発生魚は大きさ(体長)に関する親の素質を忠実に反映した。
- 大型親魚の個体選抜交配の組み合わせの中から、孵化後22ヶ月には平均体長39.17cm、平均体重1098.38gに成長する群が出現した。この群が品種として固定できれば、ビワマスは養殖対象魚となりうる。
- 集団選抜においても体長については遺伝的影響が大きいこと(実現遺伝率: $h^2 \approx 1$ )が示唆された。しかし、そのうち選抜の効果に相当するのは0.25で、残りの0.75は選抜しなくても大型化する部分と解された。
- 大型魚作出のための体長の選抜育種においては、集団選抜より個体選抜の方が効果的であった。

## 文 献

- 荒賀忠一(1985): サクラマス群の学名・和名について、日本産魚類大図鑑、(益田一・尼岡邦夫・



- 荒賀忠一・上野輝弥・吉野哲史 編)、38、東海大学出版会、東京。
- 2) 藤岡康弘(1991)：ビワマスの形態ならびに生理・生態に関する研究、滋賀県醒井養鱒場研究報告、第3号、1-112。
  - 3) 堀越昌子(2003)：ビワマス、湖魚と近江の暮らし、初版、(滋賀の食事文化研究会 編)、95-101、サンライズ出版、彦根市。
  - 4) 藤尾芳久・木島明博(1987)：水産育種の基礎、水産増養殖叢書、36、1-100、日本水産資源保護協会、東京。
  - 5) 田沢茂・鎌田淡紅郎(1970)：在来マス類増殖研究、昭和43年度滋賀県醒井養鱒試験場業務報告、11-19。
  - 6) 田沢茂・鎌田淡紅郎(1971)：在来マス類増殖研究、昭和44年度滋賀県醒井養鱒試験場業務報告、11-22。
  - 7) 江竜勝一(1978)：ビワマス親魚養成試験、昭和51年度滋賀県醒井養鱒試験場業務報告、18-20。
  - 8) 梶山義雄・江竜勝一(1979)：ビワマス親魚養成試験、昭和52年度滋賀県醒井養鱒試験場業務報告、19-23。
  - 9) 岩崎治臣・梶山義雄・西川久雄・江竜勝一(1980)：ビワマス親魚養成試験Ⅲ、昭和53年度滋賀県醒井養鱒場業務報告、38-45。
  - 10) 岩崎治臣・江竜勝一・梶山義雄・西川久雄(1981)：ビワマスの種苗生産に関する研究、昭和54年度滋賀県醒井養鱒場業務報告、31-44。
  - 11) 岩崎治臣(1982)：ビワマスの種苗生産に関する研究、昭和55年度滋賀県醒井養鱒場業務報告、50-63。
  - 12) 永松正昭(1980)：ビワマスの種苗生産に関する研究、滋賀県水産試験場研究報告、第33号、2-6。
  - 13) 原武史・本城鉄夫(1976)：在来マス、養鱒の研究、(全国湖沼河川養殖研究会養鱒部会編)、97-122、緑書房、東京。
  - 14) 本荘鉄夫(1977)：アマゴの増養殖に関する基礎的研究、岐阜県水産試験場研究報告、第22号、1-103。
  - 15) 加藤禎一(1966)：中禅寺湖産ビワマスの池中養殖における成長および生残について、淡水区水産研究所研究報告、第15巻第2号、189-196。
  - 16) 田中秀具(1992)：ビワマスの人為管理下における成長と成熟について、全国湖沼河川養殖研究会第65回大会要録、124-130。
  - 17) 山岸宏(1987)：成長の比較生物学、動物の成長と発育、(猪貴義・後藤信男・星野忠彦・佐藤博編)、194-218、朝倉書店、東京。
  - 18) 田中秀具(1994)：ビワマスの増養殖に関する研究Ⅱ、第2極体放出阻止による雌性発生2倍体の作出とその成長並びに成長変異について(速報)、平成4年度滋賀県醒井養鱒場業務報告、69-70。
  - 19) 菅民郎(1992)：統計百科 新版・相関分析と関数式のあてはめによる予測、1-106、社会情報サーブिस、東京。
  - 20) ヴェ・エス・キルピチニコフ(1983)：魚類の量的形質の遺伝、表現型ずれ(個体)、魚類育種遺伝学、117-158、恒星社厚生閣、東京。
  - 21) 和田克彦(1979)：量的形質の遺伝、水産生物の遺伝と育種、(日本水産学会 編)、7-26、恒星社厚生閣、東京。
  - 22) 岡田育穂(1982)：選抜の方法、家畜育種学、(水間豊・猪貴義・岡田育穂 共著)、94-126、朝倉書店、東京。
  - 23) 奥野忠一(1992)：応用統計ハンドブック、79-82, 779、養賢堂、東京。
  - 24) 岩田宗彦・武藤光司・阿久津梅二・L. B. Klyash-torin・B. P. Smirnov・V. S. Varnavsky・S. I. Kur-enkov・丸山為蔵(1991)：日光に移入されたカムチャッカ・コカニー(*Oncorhynchus nerka*)の成長と2年魚の成熟および海水耐性、養殖研究所研究報告、第20号、41-51。
  - 25) 工藤智・藤原真・楠田聡(1994)：森支場におけるサクラマスの池中養成過程、魚と水、NO. 31、1-12、北海道立水産孵化場。
  - 26) 青山智哉・坂本博幸(1994)：熊石支場におけるサクラマスの池中養成過程、魚と水、NO. 31、13-18、北海道立水産孵化場。
  - 27) 河村博・村上豊・小林美樹・堀田公明・長江真紀・山内皓平(1994)：日本産サクラマスの一定飼育条件下のスマルト化特性、魚と水、NO. 31、19-24、北海道立水産孵化場。
  - 28) 小林 徹(1992)：長期混合飼育下での人為三倍体ニジマスの成長、生残および生殖周期、水産増殖学会誌、40巻1号、57-70。

