

アマゴの育種に関する研究- IX

早熟雄とスモルト雄が次世代の相分化に与える影響について

徳原哲也, 桑田知宣

Studies on the breeding of amago salmon, *Oncorhynchus masou ishikawae*-IX
Phase differentiation in offspring affected by difference
in parental phase in amago salmon

TETSUYA TOKUHARA AND TOMONORI KUWADA

アマゴ、*Oncorhynchus masou ishikawae* は主に西日本の太平洋側に流れ込む河川に生息するサケ科の魚であり、食用や放流用として養殖が盛んに行われている。

アマゴでは、同群内においても、ふ化後およそ満一年となる11月から12月にかけて河川残留型であるパー (parr) と降海型であるスモルト (smolt) が出現する (スモルト化)。¹⁾ 降河したスモルトは翌年の春サツキマスとなって母川に遡上する。また、アマゴでは0年目の10月頃に群の中に成熟する雄 (以下早熟雄 precocious male) が出現することが知られている。²⁾ これらスモルトへの分化と成熟への分化は総称して相分化と呼ばれている。

現在、河川におけるアマゴ放流は継代飼育された池中養殖魚を0年目の5月から6月にかけて放流する方法が主である。池中養殖魚はスモルト出現率が高いため、放流魚の多くがスモルト化して降河している可能性がある。上流域の漁業協同組合は、より多くの放流魚が自らの漁場に滞留することを望むため、スモルト化しにくい種苗を求めている。一方、サツキマス漁を行っている下流域の漁業協同組合は、スモルト化しやすい種苗を求めている。これらの要望を解決するためには、パー又はスモルトの出現率が高い種苗をそれぞれ開発する必要がある。

当所では、1966年から継代飼育してきたアマゴを母集団とし、1975年から外観を選抜指標とし、パー及びスモルトの選抜育種を行ってきた。³⁾ その結果、スモルト同士を交配する事によって雌雄ともスモルト化率の高い系統を作出した。^{3, 4)} しかし、パー同士を交配したものは、パーの出現率は上昇したものの、成長が悪く大型のサイズのパーが得られなかった。³⁾

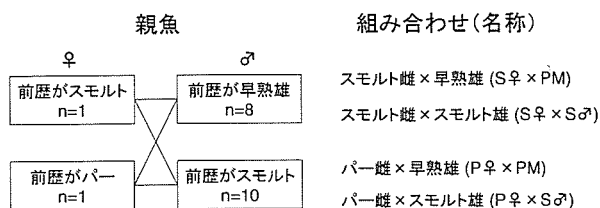
早熟雄は成熟に伴い肉質が劣化し、商品価値が減じるため、前述の選抜育種では継代の親魚から早熟雄を外してきた。²⁾ つまり、早く成熟する遺伝要因を排除してきたことになる。成熟とスモルト化は互いに相反する拮抗関係にあると言われているため、⁵⁾ 早熟雄の排除がパー系統の作出に失敗した要因と思われた。そこで、早熟要因が次世代のスモルト化に及ぼす影響について試験を行ったところ、早熟雄を親魚に用いるとパー雄を親魚に用いた場合より次世代の大型のパーの出現率が高まった。⁶⁾ この結果について今回、雌の影響をなるべく抑えた形で追試したところ、雄親魚の相分化の前歴は次世代のスモルト化に影響を及ぼすことが再確認されたので報告する。

キーワード: アマゴ, 成熟, 早熟雄, スモルト化

材料および方法

供試魚

当所(東経137度12分、北緯35度52分、標高約420m)で継代飼育されている系統(A系統)の中の前歴がスマルトであった個体1尾(S♀)と1993年に新たに導入した種苗から早熟雄とペアを選抜し2代に渡って継代した系統(B系統)の中の前歴がパーであった個体1尾(P♀)を用いた。ただしこの導入した系統も元々は本所の系統と同じ母群から継代されたものである。1999年10月18日に採卵し、それぞれの雌から得た卵を2つに分けた。そして、それぞれにA系統のスマルト雄(S♂:n=10)とB系統の早熟雄(PM:n=8)から得た精液をそれぞれ媒精し、4つの交配区を作った(第1図)。1999年12月から供試魚に市販のマス用配合飼料を与え餌付けし2000年5月11日まで適宜飼育した。



第1図 親魚の組み合わせと各試験区の名称

試験区設定および飼育条件

2000年5月11日からそれぞれの交配区より143尾を無作為に取り出し、コンクリート池(190×130×35(D)cm)に收容した。各交配区にはニジマス用の適正給餌率⁷⁾に従い、配合飼料を自動給餌器で土日を除き給餌した。飼育水には、紫外線殺菌した河川水を使用した。

測定

6月15日、7月10日、9月13日、10月10日、11月10日に各区の全尾数取り上げ体重を測定した。8月はカラムナリス症がでたため測定を行わなかった。12月15日にすべての魚を取り上げ、色彩色差計{照明光源:D65、色調:L*、a*、b*モード(JIS Z8729)}により体色を測定し、桑田⁷⁾に従ってスマルトとパーの判定を行った。この判定でパーとスマルトの中間と判定された魚は銀化パー(Silvery Parr)とした。⁸⁾また、同時に開腹して性別及び成熟の有無についても調査した。成熟の有無は開腹時に精液を出すかどうかで判断した。雌雄は肉眼で生殖腺に顆粒状の房がみられたものを雌、それ以外を雄とした。

統計処理

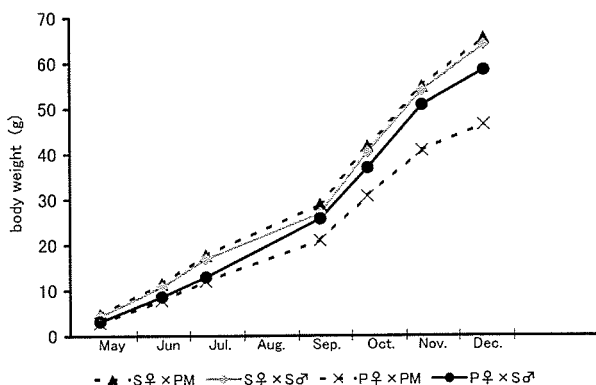
平均体重の検定にはt検定、死亡率および出現率の検定にはG検定を使用した。

結果

試験期間中の水温は5.3℃(12月)~24.3℃(8月)の間で推移した。

成長と生残

各区の試験期間の成長を第2図に示す。各試験区の魚は無作為に抽出したが初期成長の違いなどから、5月11日の段階すべての区間で有意差が見られた。特に雄親魚が同じ2区間(S1×S♂とP1×S♂及びS1×PMとP1×PM)でその差が大きかった(2区間ともp=0.0001)。最終測定日の12月15日における平均体重では、S♀内の2区間は有意差がなく(p=0.53)、P♀内の2区間は有意差があった(p=0.0001)。

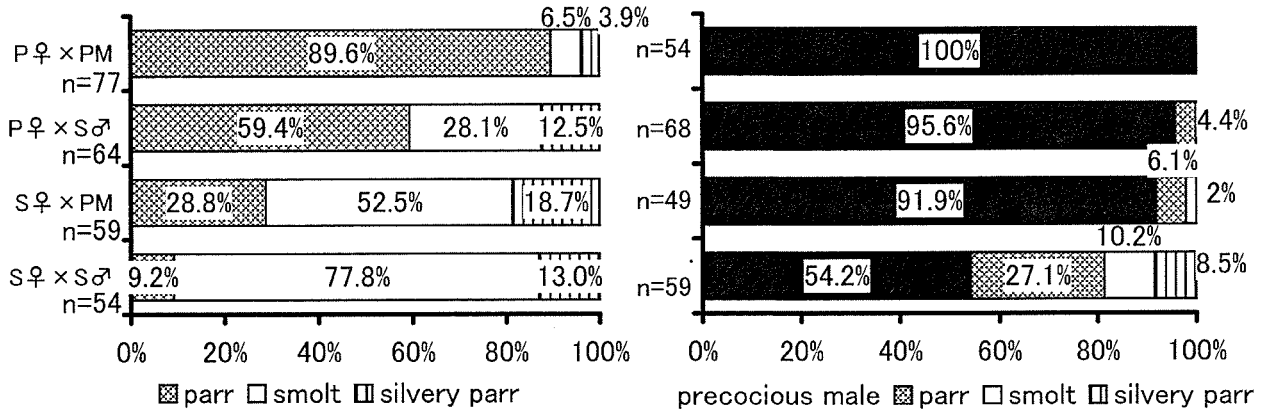


第2図 試験期間における各区の平均体重の変化

表 試験開始日と終了日の生残魚の尾数と生残率

	2000/5/11		生残率(%)
	開始尾数	最終生残尾数	
S♀×S♂	143	114	79.7
S♀×PM	143	107	74.8
P♀×S♂	143	132	92.3
P♀×PM	143	131	91.6

試験期間中の死亡率を表に示す。雄親魚が同じ2区間(S1×S♂とP1×S♂及びS1×PMとP1×PM)ではそれぞれ最終的な死亡率に有意な差があった(p<0.0001)。雌親魚が同じ区間同士の比較(S1×S♂とS1×PM及びP1×S♂とP1×PM)では、ともに死亡率に有意差が認められなかった(2区ともp>0.05)。



第3図 12月15日における各区の雌雄別相分化状況(左;雌 右;雄)

次世代雌のスモルト化状況

2000年12月15日の各区の雌雄別相分化状況を第3図に示す。

次世代雌のスモルト化状況について見ると、P♀×PM区のパー出現率は89.6%、P♀×S♂区のパー出現率が59.4%、S♀×S♂区のパー出現率は9.2%、S♀×PM区のパー出現率は28.9%となった。このことは雌親魚の相が同じであれば雄親魚に早熟雄を用いた区において有意にパーの出現率が上昇したことを示している(p<0.05)。

P♀×PM区のスモルト出現率は6.5%、P♀×S♂区のスモルト出現率が28.1%、S♀×PM区のスモルト出現率は52.5%、S♀×S♂区のスモルト出現率は77.8%となった。これは雌親魚の相が同じであれば、雄親魚にスモルトを用いた区において有意にスモルトの出現率が上昇したことを示している(p<0.05)。

以上のことから、次世代雌の各相出現率は雌親魚の影響を受け変化し、雄親魚に早熟雄を用いると次世代雌のパー出現率が高まり、雄親魚にスモルトを用いると次世代雌のスモルト出現率が高まること明らかとなった。

次世代雄の相分化状況

雄親魚に早熟雄を使用した2区(P♀×PMとS♀×PM)はどちらも次世代雄の90%以上が早熟雄となった。一方、雄親魚にスモルトを使用した2区(P♀×S♂とS♀×S♂)は、雌親魚の相によって早熟雄出現率が異なり、雌親魚にパーを使ったP♀×S♂区の方が雌親魚にスモルトを使ったS♀×S♂区より有意に高かった(p=0.000006)。

次世代雄のスモルトは雌親魚にスモルトを使った2区(S♀×PMとS♀×S♂)に出現した。S♀×S♂区の雄スモルトの出現率が10.2%と、S♀×PM区の2.0%より高かったが、出現尾数そのものが少ないため有意差は認められなかった(p=0.067)。

以上のことから、次世代雄の各相出現率は雌親魚の影響を受けて変化し、雌親魚がパーであるなら次世代雄の早熟率が上昇し、雌親魚にスモルトを使うと次世代雄にスモルトが出現することがわかった。

体重別の相分化状況

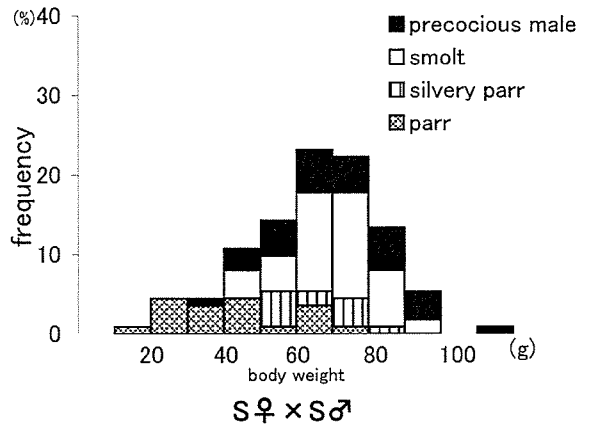
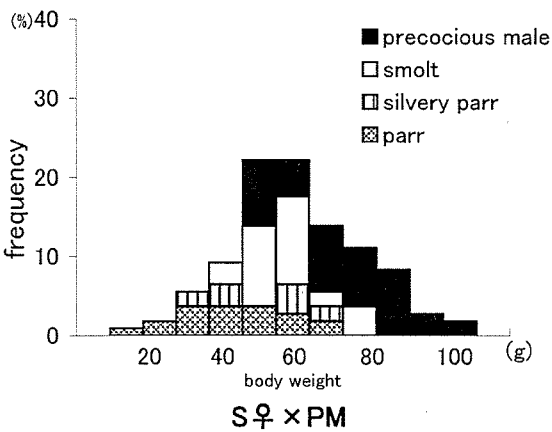
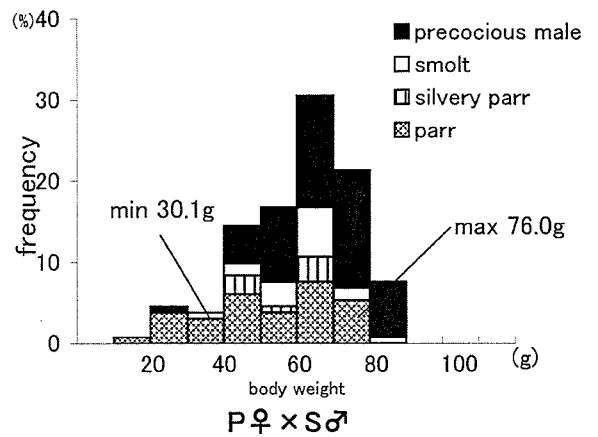
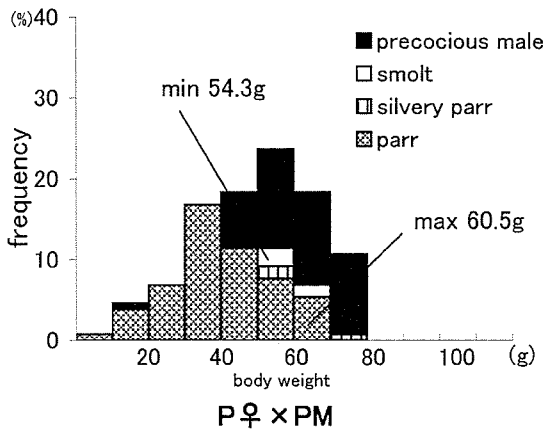
各区の12月15日における体重組成とスモルト化状況を第4図に示す。体重組成は全区で単峰性を示した。雌雄親魚に早熟雄を使用した区の体重のピークは、雌雄親魚にスモルトを使用した区のそれより、小型よりになった。すべての区で80gを超えた魚の大部分は早熟雄とスモルトであった。雌親魚がパーの区において、P♀×PM区のパーの最大サイズ(66.5g)はP♀×S♂区のそれ(76.0g)より小型になっている。一方、P♀×PM区スモルトの最小サイズは(54.3g)はP♀×S♂区のそれ(30.1g)より大型となった。

また、雌親魚がスモルトである2区間(S♀×PMとS♀×S♂)におけるパーの最大サイズ及びスモルトの最小サイズはそれぞれほぼ同じ範囲内であった。

考 察

サケ科魚類では早熟雄を親魚に用いると次世代の早熟雄の出現率が上昇し、^{9,10)}雄親魚にスモルトを使うと次世代のスモルトの出現率が上昇すること^{3,11)}が知られている。

今回、雌親魚の相に関係なく雄親魚に早熟雄を使用すると、次世代の雌におけるパーの出現率が上昇する傾向が認められた。一方、雌親魚にパーを用いると、スモルトを用いた場合に比べて、次世代の雄の早熟率が高まる傾向が確認された。これらはすべて、前報⁹⁾の結果を支持し



第4図 12月15日における各区の体重組成と相分化状況

ている。また、雄親魚にスマルトを使用すると、次世代雌におけるスマルトの出現率が上昇する傾向が認められ、雌親魚にスマルトを使用すると次世代の雄にスマルトが出現した。これらのことは親魚の相は次世代の異なる性の相分化にも影響を与えていることを示している。

次世代がパーであった魚の大きさを見るとパー雌×早熟雄の組み合わせよりパー雌×スマルト雄の組み合わせに大型のパーが出現しているが、パー雌×スマルト雄の方には小型のスマルトも出現していることと、スマルトの出現率そのものも高いことからパー雌×早熟雄の組み合わせがパー系統として実用的であると考えられる。ただし、この交配様式では早熟雄が大量に出現する。しかし、早熟雄も河川残留すること、成熟する時期は既に禁漁期になっていることから放流用の種苗として使われる場合には問題はないと考えられる。

スマルト及び早熟雄の出現は成長条件^{9,12-16)}によっても異なるので一概には言えないが、今回の結果から、スマルトが出現しにくい系統を作出するためには、雌親魚に

パー、雄親魚に早熟雄を用いることが効率的であるといえる。

要 約

1. アマゴにおいて雌親魚の遺伝的影響を均一にした条件下でスマルト雄と早熟雄とが次世代のスマルト化に及ぼす影響を調査した。
2. 前歴がスマルトであった雌1尾とパーであった雌1尾から得た卵をそれぞれ2区に分けた。そして、それぞれに前歴がスマルトであった雄(n=10)と早熟雄であった雄(n=8)から得た精子を受精させることでスマルト×スマルト、スマルト×早熟雄、パー×スマルト、パー×早熟雄の計4つの試験区を設定した。
3. 12月中旬にすべての魚を取り上げ、色彩色差計でスマルトとパーの判定を行い、同時に性別及び成熟の有無についても調査した。

4. 結果、雌親魚に関係なく雄親魚に早熟雄を使用すると、次世代のパーの出現率が上昇する傾向が認められた。
5. 雄親魚は次世代の雌の相分化に雌親魚は次世代の雄の相分化に影響を与えていることが判明した。

文 献

- 1) 本荘鉄夫. アマゴの増養殖に関する基礎的研究. 岐水試研報 1977;22:1-103.
- 2) 田代文男, 高橋 誠, 天野 賢. アマゴの増殖に関する研究-XXII, スモルト型アマゴの出現率の異なる2つの系統について. 岐水試研報 1983;28:9-16.
- 3) 後藤功一. アマゴの育種に関する研究-I, 河川残留型及び降海型アマゴの相分化における系統特性について. 岐水試研報 1994;39:21-28.
- 4) 徳原哲也, 桑田知宣. アマゴの育種に関する研究-VIII, 12代スモルト選抜を行った魚の生物学的特性. 本誌 2002;47:1-4.
- 5) Duston J, Saunders L. Effect of 6, 12, and 18-month photoperiod cycle on smolting and sexual maturation in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1992;49:2273-2280.
- 6) 一柳哲也, 松田宏典, 桑田知宣. アマゴの育種に関する研究-VI, 早熟雄が相分化に及ぼす影響について. 岐水試研報 2000;45:7-12.
- 7) Leitritz E, Lewis RC. Trout and salmon culture. California Fish Bulletin Number 164, University of California, California. 1980;109pp.
- 8) 桑田知宣, 一柳哲也, 都竹仁一, 岡崎 稔, 臼田 博. 色彩色差計によるアマゴのスモルト化の定量的測定について- II. 岐水試研報 2000;45:33-37.
- 9) 下田和孝. サクラマスジャックの分岐に関わる成長および雄親の生活型の影響. 北海道水産孵化場研報 2001; (55):13-17.
- 10) Iwamoto RN, Alexander BA, Hershberger WK. Genotypic and environmental effects on the incidence of sexual precocity in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture* 1984;43:105-121.
- 11) 後藤功一. アマゴの育種に関する研究- II, 河川残留型及び降海型アマゴの相分化における系統特性について-2. 岐水試研報 1995;40:11-18.
- 12) Johnston CE, Saunders RL. Parr-smolt transformation of yearling atlantic salmon (*Salmo salar*) at several rearing temperatures. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1981;38:1189-1198.
- 13) 田代文男, 高橋 誠, 天野 賢. アマゴの増殖に関する研究-XXI, アマゴのスモルト化に及ぼす成長の影響について. 岐水試研報 1983;28:1-8.
- 14) 熊崎 博, 田代文男. アマゴの増殖に関する研究-XXVI, アマゴ及びヤマメの相分化に及ぼす飼育条件の影響について(3). 岐水試研報 1988;33:1-20.
- 15) Rowe DK, Thorpe JE. Suppression of maturation in male atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr by reduction in feeding and growth during spring months. *Aquaculture* 1990;86:291-313.
- 16) Clarke WC, Blackburn J. Effect of growth on early sexual maturation in stream-type chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture* 1994; 121: 95-103.