

サケ稚魚における家系間の成長様式の違い

誌名	水産増殖 = The aquiculture
ISSN	03714217
巻/号	631
掲載ページ	p. 89-98
発行年月	2015年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



サケ稚魚における家系間の成長様式の違い

安藤大成^{1,2,*}・佐々木義隆³・宮腰靖之¹・安富亮平¹
飯嶋亜内¹・下田和孝¹・中嶋正道²

Differences in the growth patterns of fry among chum salmon *Oncorhynchus keta* families

Daisei ANDO^{1,2,*}, Yoshitaka SASAKI³, Yasuyuki MIYAKOSHI¹, Ryohei YASUTOMI¹,
Anai IJIMA¹, Kazutaka SHIMODA¹ and Masamichi NAKAJIMA²

Abstract: Twenty-five chum salmon *Oncorhynchus keta* families were produced using a 5 × 5 diallel mating design, and the body weights and specific growth rates (SGRs) were measured from 0 to 99 days after emergence. The body weights of the fry differed in the same developmental stages among the families. In addition, the mean body weights of fry that originated from small eggs were low, but their SGRs were high. These results suggest that the body sizes of chum salmon fry are strongly governed by the initial egg size, but that their body size and growth rate at each developmental stage vary depending on the combination of sire and dam.

Key words: Chum salmon; Body weight; Growth pattern; Specific growth rate

北海道沿岸におけるサケ *Oncorhynchus keta* の来遊資源は1970年以降増大したが、この背景として海洋環境の好適化の他 (帰山 2006)、ふ化放流技術の向上が一因として考えられてきた (小林 2009)。ふ化放流技術向上の具体例としては、1967年度に導入された乾燥配合飼料の使用により (野川・八木沢 2011)、飼育期間の延長と稚魚の大型育成が可能になったことや、一部の海域で好適放流時期の探索が行われ、その時期に合わせた放流が行われるようになったことなどがあげられる (小林 2009)。特に放流時のサイズに関して、放流サイズがある大きさ (1.1~1.3 g 程度) に達するまでは、大型稚魚の方が小型稚魚よりも回帰率が高

いことが示唆されている (Kaeriyama 1998; 永田・山本 2004; 北海道さけ・ます増殖事業協会 2007)。また、降海後のサケの死亡はサイズ依存的に起こるとの報告もある (Healey 1982)。したがって、放流時までのサケ稚魚の成長は沿岸域での生き残りを左右する重要な要素であると考えられる。

放流用種苗を作出するために行うサケの採卵作業は、6~8尾の雌から得られた卵をプールしたものに、3~4尾の雄親魚から搾出した精子を用いて媒精が行われており (野川 2010)、通常、雌の使用尾数に対して雄の使用尾数は1/3~1/2の比率となっている。サケの体サイズは雌よりも雄で変異が大きいことが知ら

2014年9月8日受付; 2014年12月18日受理。

¹ 地方独立行政法人北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場 (Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, 3-373 Kitakashiwagi, Eniwa, Hokkaido 061-1433, Japan).

² 東北大学大学院農学研究科 (Laboratory of Marine Life Science and Genetics, Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University, 1-1 Tsutsumidori-amamiya, Aobaku, Sendai 981-8555, Japan).

³ 地方独立行政法人北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場道東支場 (Doto Research Branch, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, 3-1-10 Maruyama, Nakashibetsu, Hokkaido 086-1164, Japan).

*連絡先 (Corresponding author): Tel, (+81) 123-32-2136; Fax, (+81) 123-34-7233; E-mail, andou-daisei@hro.or.jp (D. Ando).

れており (Beacham and Murray 1985a), 使用される雄の選択に当たっては, 採卵時に作業しやすい小型魚に指向性選択がはたらくのではないかという意見がある一方で (帰山 2004), 選抜育種の観点から大型の雄が使用されることが多いとも言われている (北海道さけ・ます増殖事業協会 2007)。

北海道におけるサケの増殖事業では稚魚を 5 cm, 1 g 程度の大きさになるまで飼育池で育ててから放流する人が多い (永田 2009)。増殖事業ではサケの体サイズや成長は, 体重で評価されるのが一般的であるが, 稚魚の状態を評価するのに成長率も重要な指標となる場合がある (帰山・文谷 1982; 栗田ら 2010)。しかし, 用いた親魚の違いが, その後の稚魚の成長 (体重) や成長率にどのように影響するのかわかずにされており, また, 飼育過程において家系間の成長差がどの程度生じるのかわかっている。

本試験では, 人工授精によりサケ25家系を作出し, サケ稚魚の成長様式 (体重と成長率) における家系間の違いについて検証した。

材料および方法

親魚のサンプリングと採卵

2013年10月21日に北海道の石狩川支流千歳川に遡上した親魚から雌5尾, 雄5尾をサンプリングした。千歳川では1888年に千歳中央孵化場が開設されて以降, 長期間にわたりサケの増殖事業が行われており (小林 2009), 現在では, 日本海さけ・ます増殖事業協会により捕獲及び採卵が行われ, 水産総合研究センター北海道区水産研究所千歳さけます事業所により, 毎年約3,000万尾のサケ稚魚が生産され放流されている (水産総合研究センター 2012)。また, 千歳川では野生魚も3~29%の割合で回帰していると推定されているが (森田ら 2013), 本研究で用いた親魚の由来は不明である。サンプリングした親魚は前日に千歳川に遡上してきた魚であり, 捕獲後直ちに北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場 (恵庭市) へ生かしたまま輸送し, 室内に設置されている容積3000 l の水槽で蓄養した。10月23日に, 蓄養されている親魚を取り上げ, 尾又長 (0.1 cm 単位) と体重 (0.01 kg 単位) を測定後, 雌5尾 (F1~F5) と雄5尾 (M1~M5) の総当たり交配により25家系を作出した。交配は雌で得られた卵の総重量を秤量したのち, 重量計算で約200粒ずつを抽出し, その卵に0.5 cc の精子をかけることで行った。その後, 9.0℃の湧水で1時間静置して吸水させた後, 各交配群から少量ずつ (10~15個) 卵を集めてプールし, 卵の合計重量を卵数で割ることで初期重量を雌ごとに算出した。その後, 授精させた卵

をバスケットに收容したのち, 25個の60 l 水槽に個別に收容し, 流水を用いて飼育を行った。また, 採卵及び採精の終わった親魚から鱗を数枚採集し, 年齢査定を行った。年齢は小林 (1961) の方法に従い, 冬季帯の数に1を足した値を年齢とした。

稚魚の飼育と測定

授精から117日目の2014年2月17日 (積算水温944℃日) に, 浮上した各家系の稚魚から100尾を抽出して給餌飼育を開始した。給餌する前に, 各飼育群から60尾をランダムに選び, 体重を0.001 g 単位で計測し, 各家系における浮上時の体サイズとした。測定した魚は再び水槽へ戻し, 飼育を継続した。また, 総当たり交配で得られた25家系の他に, 給餌率設定の基準とするため, 25家系からランダムに4尾ずつを抽出し, 混合させた群 (混合群, 4尾×25群 = 100尾) を作出し, 25家系と同様に飼育を行った。給餌は海産魚用高タンパク飼料であるニューアルテックK2~K4 (日清丸紅飼料) を1日に4回 (9:00, 11:00, 13:00及び15:00) の頻度で与えた。給餌作業には自動給餌機 (ニッソーフードタイマー NAT-108, マルカン) を用い, 休日を含めて飼育期間中, 毎日与えた。給餌率は, 混合群のサケ稚魚の総重量を基準として設定し, 成長段階により魚体総重量の3.7~4.7% (1水槽に対し1.1~13.0 g) の範囲で変動したが, 残餌の量や家系間の成長差に関わらず, どの家系も等重量の餌を与えた。浮上してから42日目までは7日間隔で体重測定を行い (0, 7, 14, 21, 28, 35, 42日目), その後は73日目と99日目に測定を行った。体重測定は各家系から60尾を無作為に取り上げ, 2-フェノキシエタノールで弱く麻酔をかけた後, 体重を測定し (60尾×25家系=1,500尾), 混合群についてはその時点で生残している尾数, 全てを測定した。また, 最後の測定となる飼育99日目 (2014年5月28日) には, 25家系についても全ての生残尾数の体重測定を行った。浮上後から調査終了時までの飼育水温は7.8~9.6℃ (1日の平均水温) の範囲であり平均8.8℃であった。

体サイズの解析

用いた雌親と雄親の違いが稚魚の体重に及ぼす影響を評価するため, 各測定日ごとに二元配置分散分析法 (雌親×雄親) を用いて検定を行った。有意水準は5%とした。また, 各家系における瞬間成長率 (specific growth rate; SGR) を以下の式で求めた。

$$SGR = 100 \times (\ln Wt_2 - \ln Wt_1) / t$$

ここで,

Wt_1 : 前回の測定時の平均体重 (g)

Wt_2 : 測定時の平均体重 (g)

t : 測定間の日数

である。瞬間成長率は発育段階ごと (0~7, 7~14, 14~21, 21~28, 28~35, 35~42, 42~73, 73~99日) に各家系および25家系全体について算出するとともに、飼育期間全体 (0~99日) の瞬間成長率も算出した。また、各家系の稚魚の体重を、作出に参与した雌親および雄親ごとにまとめ、雌雄別の SGR も同様に算出した。

結 果

親魚の体サイズと年齢

試験に用いたサケの尾叉長は雌で64.0~70.0 cm, 雄で64.6~70.9 cm であり、体重は雌で2.82~3.60 kg, 雄で3.00~3.90 kg であった。年齢は雌では4年魚 (F1, F4) と5年魚 (F2, F3, F5) が混在したが、雄では5尾とも5年魚であった (Table 1)。卵1個当たりの初期重量は0.193~0.252 g の範囲であったが、F5 の卵重は0.193 g と小型であったのに対し、F1~F4 の卵重は0.245~0.252 g であり、ほぼ同じ大きさであった。

稚魚の生残率と混合群の体重

25家系における99日目の取り上げ尾数は89尾 (F5 × M5) から100尾 (F2 × M2, F3 × M3, F4 × M4 及び F5 × M2) であり、生残率は89~100%であった (Table 2)。全体としては2433尾が生残し、生残率は97.3%であり良好な生残を示した。混合群の死亡は73日目までは見られなかったものの、99日目の取り上げ尾数は99尾 (生残率99%) であった (Table 3)。混合群の浮上時における体重の最小個体 (0.183 g) と最大

個体 (0.343 g) の差は0.160 g であったが、飼育日数と共に拡大し99日目には最大の個体が4.524 g, 最小の個体が1.947 g であり、その差は2.577 g となっていた。

家系毎の体重の範囲

25家系における平均体重の範囲を見ると、0日目に平均体重の最小を示した家系 F5 × M4 が0.189 g, 最大を示した家系 F1 × M1 が0.322 g であり、その差は0.133 g と小さかったが、飼育日数と共に差は大きくなり、99日目には最大の家系 (F1 × M1) と最小の家系 (F5 × M5) の差は2.428 g となっていた (Table 3)。また、99日目に最も小さい平均体重を示した家系は F5 × M5 の2.821 g であったが、この家系は最も生残率が低い家系でもあった (Table 2)。飼育段階ごとに見ると、平均体重が最も小さい家系は0~73日目まで F5 × M4 が占めており、99日目の測定のみ F5 × M5 であったものの、F5 の雌から作出した家系 (F5 関与

Table 2. Number of chum salmon individuals used in this study and survival rate at final sampling

Family name	Number of individuals		Survival rate (%)
	0 days (initial)	99 days (final)	
F1 × M1	100	97	97.0
F1 × M2	100	97	97.0
F1 × M3	100	92	92.0
F1 × M4	100	99	99.0
F1 × M5	100	97	97.0
F2 × M1	100	99	99.0
F2 × M2	100	100	100.0
F2 × M3	100	94	94.0
F2 × M4	100	98	98.0
F2 × M5	100	97	97.0
F3 × M1	100	98	98.0
F3 × M2	100	99	99.0
F3 × M3	100	100	100.0
F3 × M4	100	95	95.0
F3 × M5	100	99	99.0
F4 × M1	100	97	97.0
F4 × M2	100	99	99.0
F4 × M3	100	97	97.0
F4 × M4	100	100	100.0
F4 × M5	100	96	96.0
F5 × M1	100	99	99.0
F5 × M2	100	100	100.0
F5 × M3	100	98	98.0
F5 × M4	100	97	97.0
F5 × M5	100	89	89.0
Total of 25 families	2500	2433	97.3
Mixed family	100	99	99.0

Mixed family: four fish per family were selected, mixed in an aquarium, and reared to estimate the quantity of food required for 25 families.

Table 1. Biological data of adult chum salmon used for 5 × 5 type diallel cross

Sex	Code	Fork length (cm)	Body weight (kg)	Age (years)	Egg weight (g)	Number of eggs
Female	F1	64.0	2.82	4	0.252	2498
	F2	67.0	3.14	5	0.245	2577
	F3	67.0	3.30	5	0.252	2841
	F4	69.0	3.60	4	0.248	2916
	F5	70.0	3.44	5	0.193	2785
Male	M1	70.9	3.90	5	-	-
	M2	64.6	3.14	5	-	-
	M3	70.8	3.88	5	-	-
	M4	68.2	3.00	5	-	-
	M5	68.1	3.32	5	-	-

家系) で占められていた。一方、平均体重が最も大きかったのは、F1×M1 (0, 35, 73, 99日目), F4×M5 (7日目), F4×M3 (14日目), F3×M2 (21日目), F3×M1 (28, 42日目) と飼育段階により変化が見られた。しかし、9回の測定のうち M1 の雄を用いた家系が6回を占めており、特に28日目以降は F1 と F3 の雌の違いはあるものの、M1 関与家系が最も大きい平均体重を示した。

家系毎の体重の推移

0 日目の稚魚の平均体重は、F5 から作出した家系の平均体重の範囲が0.189~0.242 g であり、他の雌から作出した家系の平均体重0.298~0.322 g に比べ明らかに小さかった (Fig. 1)。しかし、同じ雌から得られた家系においても、浮上サイズは同じではなく、交配させた雄により体重は異なっていた。同一雌内における家系間の平均値のばらつきは飼育日数が経過するほど大きくなっていった。F5 関与家系では、0

Table 3. Comparison of the minimum and maximum body weights between single and mixed families

Days after emergence	Single family (25 families)						Mixed family		
	Number of individuals	Minimum size of family mean			Maximum size of family mean			Number of individuals	Body weight (g) Range
		Family	Number of individuals	Mean ± S.D. (g)	Family	Number of individuals	Mean ± S.D. (g)		
0	1500	F5×M4	60	0.189 ± 0.0134	F1×M1	60	0.322 ± 0.0119	100	0.183 - 0.343
7	1500	F5×M4	60	0.255 ± 0.0228	F4×M5	60	0.445 ± 0.0348	100	0.230 - 0.465
14	1500	F5×M4	60	0.340 ± 0.0281	F4×M3	60	0.576 ± 0.0289	100	0.300 - 0.608
21	1500	F5×M4	60	0.452 ± 0.0364	F3×M2	60	0.761 ± 0.0517	100	0.398 - 0.792
28	1500	F5×M4	60	0.574 ± 0.0520	F3×M1	60	0.940 ± 0.0711	100	0.471 - 0.935
35	1500	F5×M4	60	0.677 ± 0.0750	F1×M1	60	1.143 ± 0.0933	100	0.596 - 1.155
42	1500	F5×M4	60	0.848 ± 0.0938	F3×M1	60	1.445 ± 0.1186	100	0.757 - 1.505
73	1500	F5×M4	60	2.014 ± 0.2915	F1×M1	60	3.449 ± 0.4570	100	1.428 - 2.948
99	2433	F5×M5	89	2.821 ± 0.4624	F1×M1	97	5.249 ± 0.6994	99	1.947 - 4.524

Mixed family: four fish per family were selected, mixed in an aquarium, and reared to estimate the quantity of food required for 25 families.

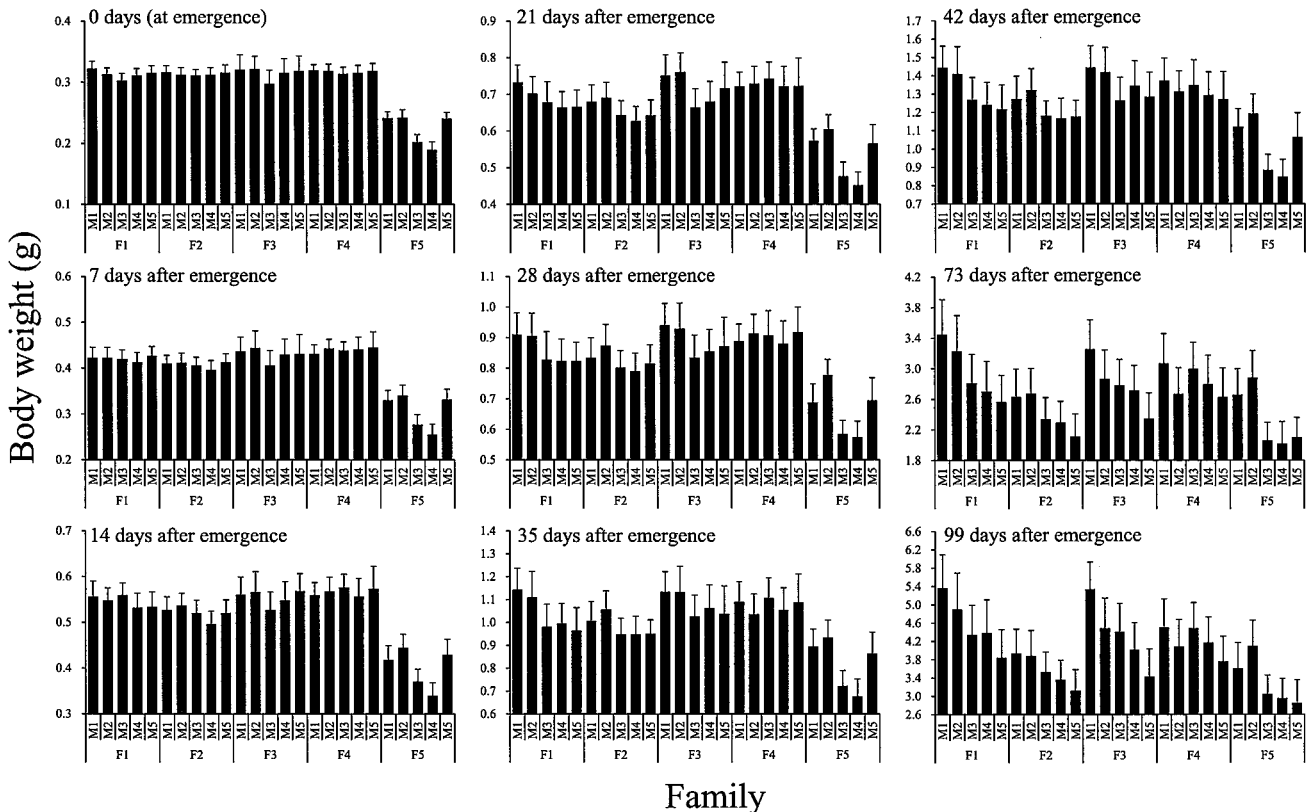


Fig. 1. Mean body weights of chum salmon fry in 25 families. The vertical bars indicate standard deviations.

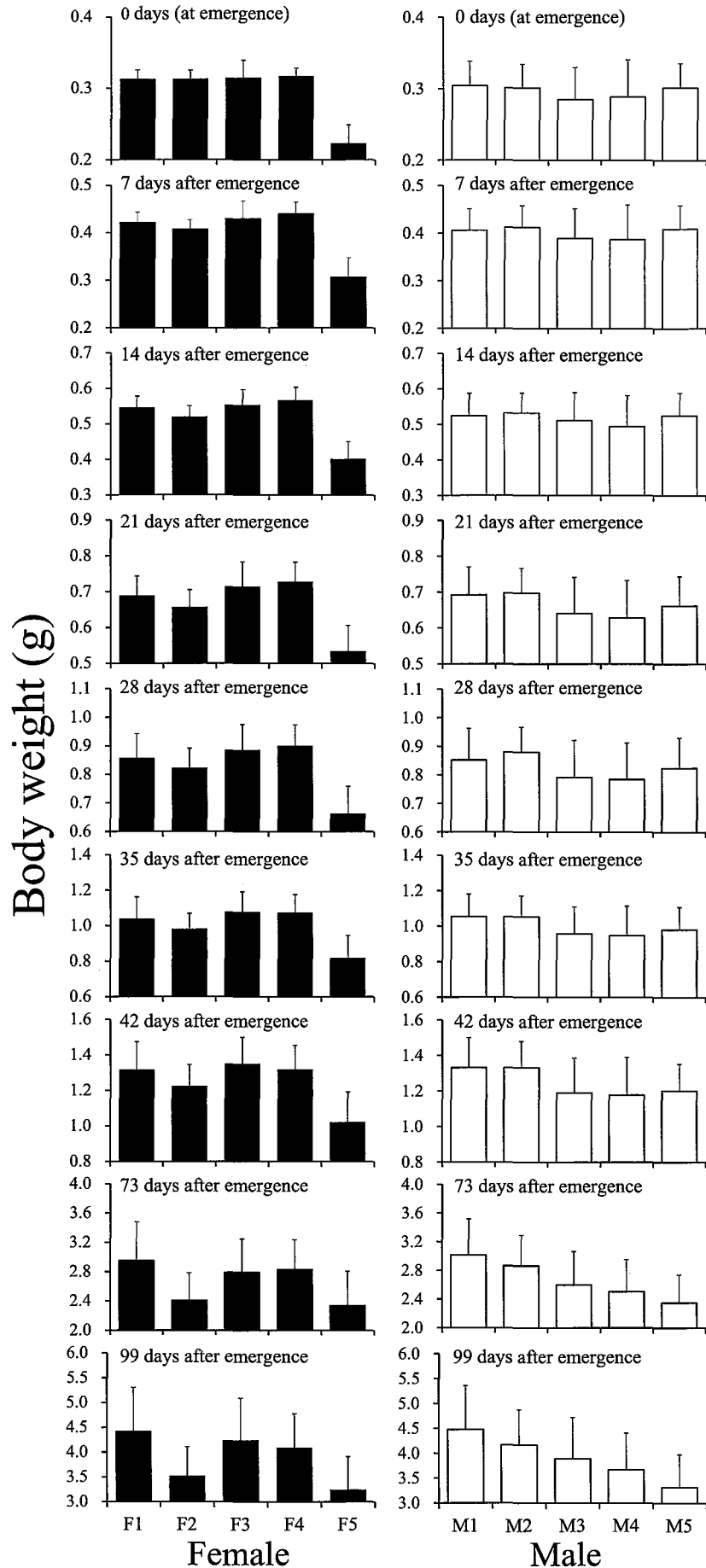


Fig. 2. Mean body weights of chum salmon fry in each half-sib family with the same female parent (left) or male parent (right). The vertical bars indicate standard deviations.

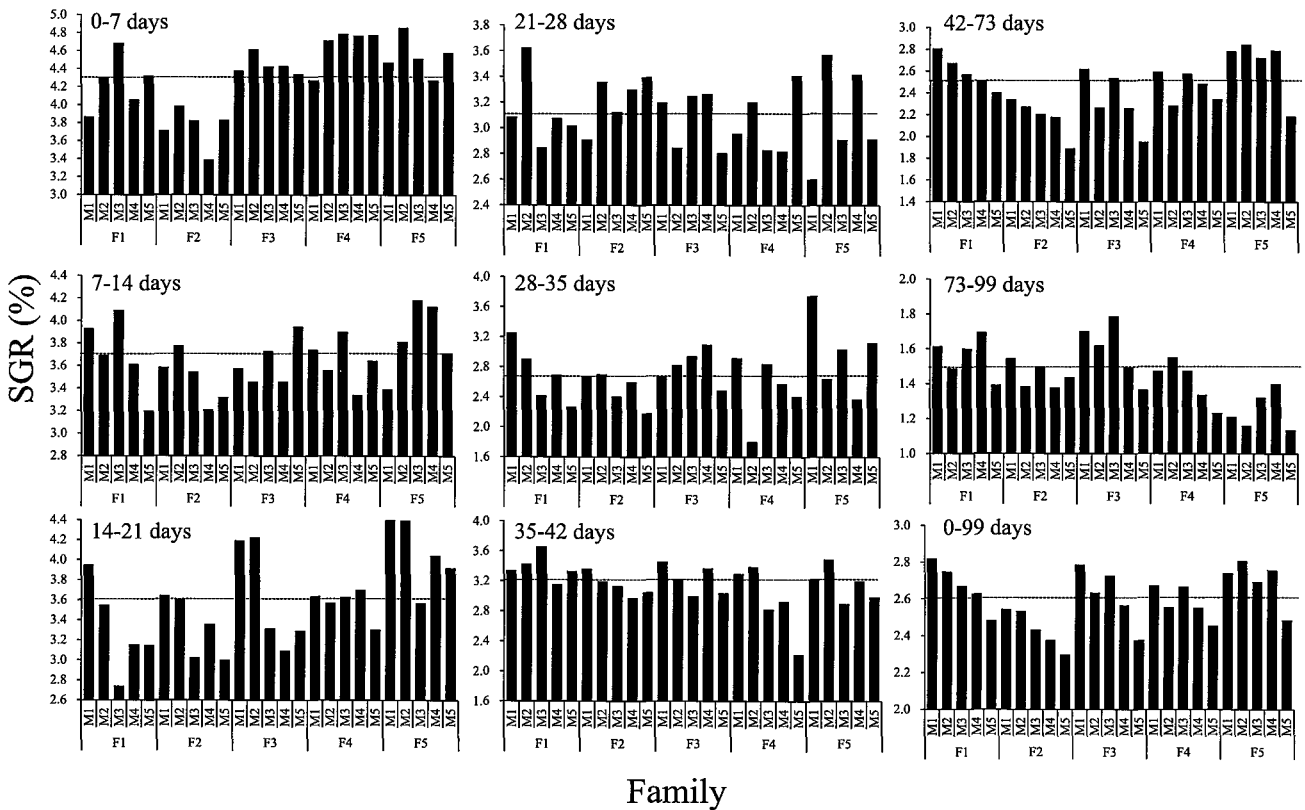


Fig. 3. Specific growth rates (SGRs) of chum salmon fry in 25 families. The days at the upper left of each graph indicate the developmental stages (8 consecutive periods following emergence and the entire experimental period of 99 days). The horizontal dotted lines indicate the mean SGRs of the families.

～35日目までは最も成長の良い家系 (F5×M2) でも他の雌から作出した家系より小さなサイズであったが、42日目には F5×M2 の平均体重が1.192 g となり、他の雌から生じた家系 F2×M3 (1.182 g), F2×M4 (1.168 g), F2×M5 (1.176 g) の平均値を初めて上回った。73日目、99日目では家系間の差がより顕著となったが、F1, F2, F3, F5 では比較的類似した傾向を示し、M1 及び M2 関与家系はおおむね大型であり、M3, M4, M5 関与家系では小型であった。しかし、F4 では傾向が異なり、M3 と交配した家系が大型であり、M1 と交配した家系とほぼ同じ体重を示した。

これら家系の体重を雌毎および雄毎にまとめると、雌では F5 関与家系が5尾の雌中で終始、最も小型であった (Fig. 2)。F2 関与家系の平均体重は飼育日数が経つにつれて徐々に他の雌に比べて低下し、73日後には2.411 g となり、F5 関与家系の平均値2.342 g と大差なくなっていた。一方、雄では浮上時には M3 関与家系が0.285 g, M4 関与家系が0.289 g であり、他の雄の関与家系 (0.301～0.304 g) に比べて小型であった。この傾向は35日目まで見られたが、42日目以降は M5 関与家系の体重と大きな差は見られなくなり、73日目以降は M5 関与家系の方が M3 及び M4 関与家系

よりも小型となっていた。二元配置分散分析では、雌親成分と雄親成分は全ての成長段階で有意な影響が検出され ($P < 0.001$)、また、両成分の交互作用も全ての成長段階で検出された ($P < 0.001$)。

瞬間成長率

25家系全体の平均値を用いて算出した SGR は0～7日目までは4.3%と高い値を示したが、飼育日数とともに低下し73～99日目の飼育段階では1.5%となっていた。また、全期間 (0～99日目) を通した SGR は2.6%であった (Fig. 3)。SGR の家系間の変動は1.1～4.9%と大きかったが、最大の SGR を示す家系は雌では F5 関与家系 (0～7, 7～14, 14～21, 28～35, 42～73日)、雄では M1 もしくは M2 関与家系が多かった。F5 関与家系の SGR は73～99日目では1.1～1.4%と25家系全体の平均値を用いて計算した SGR (1.5%) より低かったものの、飼育期間全体で見ると F5×M5 を除く4家系で、全家系の平均体重を用いて計算した SGR より高い値を示した。同様に、F1 関与家系も飼育期間全体で見ると F1×M5 を除く4家系で高い SGR を示した。

これら家系の SGR を雌毎および雄毎にまとめる

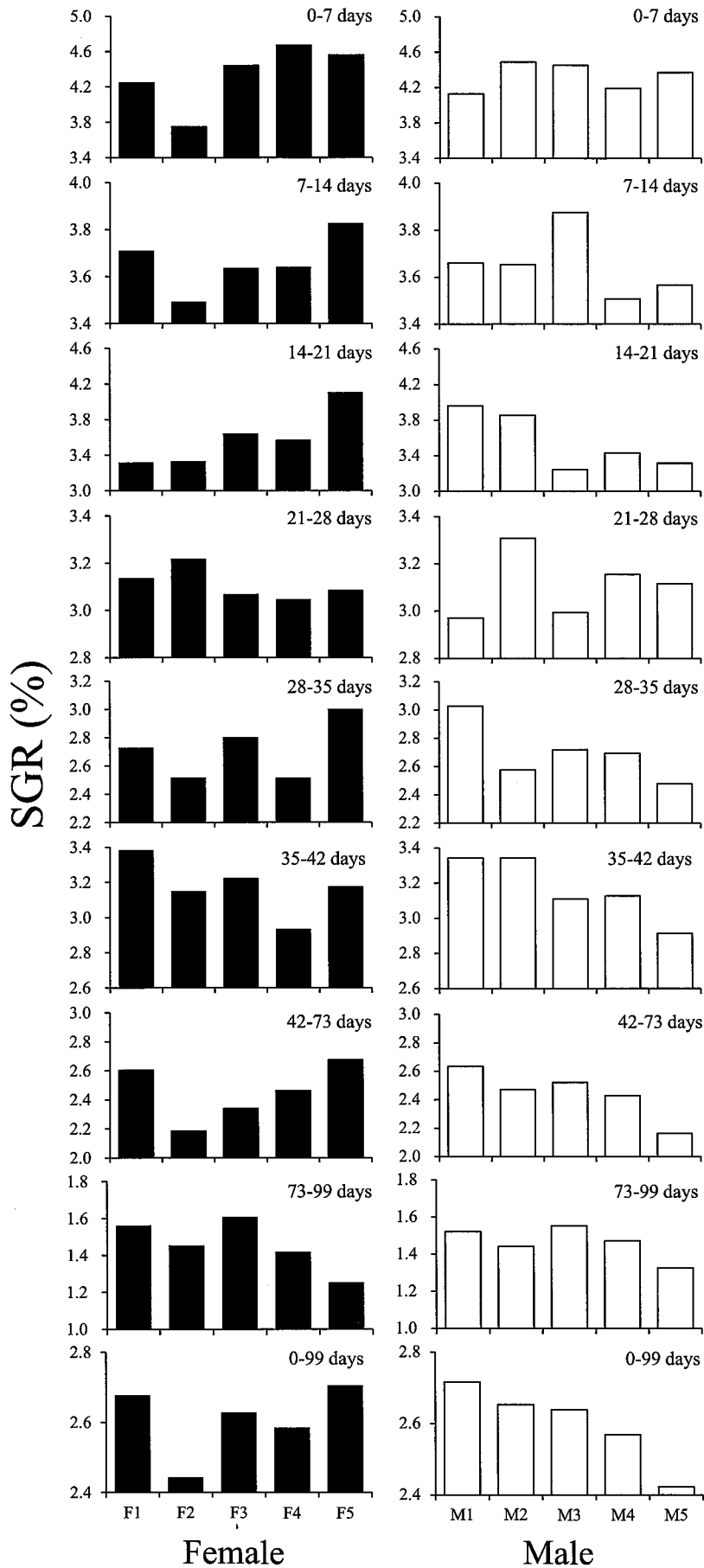


Fig. 4. Specific growth rates (SGRs) of chum salmon fry in each half-sib family with the same female parent (left) or male parent (right). The days at the upper right of each graph indicate the developmental stages (8 consecutive periods following emergence and the entire experimental period of 99 days).

と、雌では浮上直後から F5 関与家系の SGR が比較的高く、42～73日目にかけて F1 関与家系とともに高い SGR (2.6～2.7%) を示した (Fig. 4)。また、飼育期間全体で見ても F5 関与家系の SGR は5尾の雌中で最も高い値を示した (2.7%)。一方、F2 関与家系の SGR は浮上直後から低い値を示すことが多く、飼育期間全体で見ても5尾の雌中、最も低い値 (2.4%) となっていた。雄で最も高い SGR を示す群は0～7日目で M2 関与家系、7～14日目で M3 関与家系、14～21日目で M1 関与家系、21～28日目で M2 関与家系、28～35日目で M1 関与家系というように入れ替わりが多く見られたが、M4 と M5 関与家系が最も高い SGR を示すことはなかった。飼育期間全体で見ると M1 関与家系の SGR が2.7%と最も高く、M5 関与家系の SGR が最も低い値 (2.4%) であった。

考 察

本研究では、サケの5×5タイプの総当たり交配から25家系を作出し、体重を浮上後99日目まで追跡することで、家系間の成長様式の比較を行い、用いた雌親と雄親の影響を検討した。

稚魚の体重には、雌親と雄親の影響がいずれの成長段階でも有意に検出され、また両要因の交互作用が検出された。このことは稚魚の体重は、片親だけでは決まらず、雌雄の組み合わせにより成長も異なることを意味している。本研究では、浮上直後から稚魚の体サイズに雄の影響も検出された。サケ科魚類では授精後の卵サイズや浮上時の耳石のサイズ (代謝率の指標) にも雄の影響が強く現れる例も知られており (Pakkasmaa et al. 2001; Yamamoto and Reinhardt 2003)、サケの体サイズでも浮上前から雄の影響が現れていた可能性も考えられた。

これまでにサケ属魚類では、体長や体重などの量的形質に関して遺伝率を推定することで集団の遺伝的評価が行われており、ニジマス *O. mykiss* においても、総当たり交配により求めた体サイズの遺伝率は成長段階により異なることが報告されている (工藤ら 2001)。本研究でも総当たり交配を行っているため、遺伝率の推定は可能であるが、浮上直後のサケ稚魚の体サイズは卵サイズに大きく依存し、F5 の体サイズは浮上後、長期間にわたり他の雌の家系より小さいサイズを示していた。従って、浮上直後の体サイズは遺伝的な成長の違いだけではなく、卵サイズの違いも大きく影響した結果といえる。大西洋サケ *Salmo salar* やブラウントラウト *S. trutta* では、家系内においても大型卵から生じた浮上稚魚の方が、小型卵から生じた稚魚よりも大きく成長が早いことが知られており

(Einum and Fleming 1999; Einum 2003)、サケでも卵サイズが稚魚のサイズに影響することはよく知られている (Beacham and Murray 1985b, 1986; Beacham et al. 1985)。特に、一定水温下で飼育されたサケの仔魚や浮上稚魚の体サイズは卵サイズからほぼ予測できることが報告されている (Beacham and Murray 1990)。本研究でも F5 関与家系の体重は終始、他の雌よりも小さかったものの (Fig. 2)、家系ごとに見ると、飼育42日目には F5×M2 の平均体重は F2 の関与した3家系 (F2×M3, F2×M4, F2×M5) よりも大型となっていた。そのため、卵重が浮上後の成長に及ぼす影響は大きいものの、飼育日数が経つにつれ、卵重の影響は小さくなっていき、本来稚魚の持っている成長特性が現れてくるものと考えられる。サケ稚魚でも、より長期間の飼育ができれば体サイズに関する遺伝率の推定も可能であると考えられた。

本研究で用いた親魚のサイズと稚魚の成長を見ると、体重で最も大型の雌は F4 であり (Table 1)、F4 関与家系は0～28日目では最も大きい体サイズを示し、35日目以降も比較的大型サイズを示した。一方、F1 は5尾の雌親のうち最も体重が小さかったものの (Table 1)、F1 関与家系の稚魚の成長は他の家系に比べて顕著に劣ることはなく、73日目と99日目には F1 関与家系の体サイズは最も大きくなっていった (Fig. 2)。逆に F2 関与家系は、浮上時に F1, F3 及び F4 関与家系と体重に差は見られなかったものの、徐々に成長が低下し、99日目には大きな差が見られた。雄では M1 と M3 が5尾の中では大型であり、M1 関与家系は良好な成長を示したものの、M3 関与家系の成長は M1 関与家系に比べ悪かった。逆に小型の雄は M2 と M4 であり、最も体重が小型であった M4 関与家系の成長は悪かったものの M2 関与家系は良好な成長を示した。これらの結果より、稚魚の成長は親魚の体サイズだけではなく、雌雄の組み合わせや成長段階により変化することが明らかとなった。ただし、今回用いた雄は全て5年魚であったが、雌で最大サイズを示した F4 と最小サイズを示した F1 は4年魚であり、他は5年魚であった。したがって、雌に関しては単純な体サイズだけでなく、年齢も稚魚の成長に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

F5 の雌は他の雌に比べて卵が小型であったため、その後の体重は小さかったものの成長率は高い値を示した。小型卵は大型卵に比べて浮上直後の成長率が良いことはマスノスケ *O. tshawytscha* でも知られている (Heath et al. 1999)。ニジマスでは体重を用いた成長率の遺伝率が推定されており、雄成分由来の遺伝率は0.261と報告され (佐藤ら 2006)、成長率も遺伝的要因を含む形質であることが示されている。また、ギンザ

ケ *O. kisutch* では海洋での初期成長がその後の生残率に影響することも知られている (Holtby et al. 1990)。したがって、放流されるサケにおいても、体サイズそのものより成長率が生残に関わっている可能性もあり、親魚の年齢とともに小型卵の成長特性や成長率について今後も検討する必要がある。

要 約

サケの総当たり交配 (雌5×雄5) により25家系を作出し、浮上から99日目までの体重と成長率を調べた。同じ発育段階におけるサケ稚魚の体重は家系間で異なっていた。また、小型卵から生まれた稚魚の平均体重は終始小さかったものの、成長率は大型卵から生まれた稚魚よりも高い値を示した。これらの結果から、サケ稚魚の体サイズは卵サイズの影響を強く受けるものの、発育段階別の体サイズや成長率は雌雄の組み合わせにより異なることが示唆された。

謝 辞

本試験で用いたサケ親魚は日本海さけ・ます増殖事業協会のご厚意により分譲して頂いた。サケの交配試験は恵庭市立柏陽中学校2年生 (当時) 4名の協力のもと行われた。また、稚魚の測定にはさけます・内水面水産試験場の櫻井陽介氏にご協力いただいた。ここに記して厚くお礼申し上げる。本研究の一部は日本学術振興会による科学研究費補助金、基盤研究 (A)、課題番号25252035の補助により行われた。

文 献

- Beacham, T. D. and C. B. Murray (1985a) Variation in length and body depth of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) and chum salmon (*O. keta*) in southern British Columbia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **42**, 312-319.
- Beacham, T. D. and C. B. Murray (1985b) Effect of female size, egg size, and water temperature on developmental biology of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) from the Nitinat River, British Columbia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **42**, 1755-1765.
- Beacham, T. D. and C. B. Murray (1986) Comparative developmental biology of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) from the Fraser River, British Columbia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **43**, 252-262.
- Beacham, T. D. and C. B. Murray (1990) Temperature, egg size, and development of embryos and alevins of five species of Pacific salmon: a comparative analysis. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **119**, 927-945.
- Beacham, T. D., F. C. Withler and R. B. Morley (1985) Effect of egg size on incubation time and alevin and fry size in chum salmon (*Oncorhynchus keta*) and coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Can. J. Zool.*, **63**, 847-850.
- Einum, S. (2003) Atlantic salmon growth in strongly food-limited environments: effects of egg size and paternal phenotype?. *Environ. Biol. Fish.*, **67**, 263-268.
- Einum, S. and I. A. Fleming (1999) Maternal effects of egg size in brown trout (*Salmo trutta*): norms of reaction to environmental quality. *Proc. Royal Soc. London B*, **266**, 2095-2100.
- Healey, M. C. (1982) Timing and relative intensity of size-selective mortality of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) during early sea life. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **39**, 952-957.
- Heath, D. D., C. W. Fox and J. W. Heath (1999) Maternal effects on offspring size: variation through early development of Chinook salmon. *Evolution*, **53**, 1605-1611.
- 北海道さけ・ます増殖事業協会 (2007) さけ・ますふ化放流事業実施マニュアル. 社団法人北海道さけ・ます増殖事業協会, 札幌, 102 pp. [Hokkaido Salmon Propagation Association (2007) *Technical Manual for Salmon Hatchery Programs in Hokkaido*. Hokkaido Salmon Propagation Association, Sapporo, 102 pp (in Japanese).]
- Holtby, L. B., B. C. Andersen and R. K. Kadowaki (1990) Importance of smolt size and early ocean growth to interannual variability in marine survival of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **47**, 2181-2194.
- Kaeriyama, M. (1998) Dynamics of chum salmon, *Oncorhynchus keta*, populations released from Hokkaido, Japan. *NPAFC Bull.*, **1**, 90-102.
- 帰山雅秀 (2004) サケの個体群生態学. サケ・マスの生態と進化 (前川光司編), 文一総合出版, 東京, pp. 137-163.
- 帰山雅秀 (2006) サケ科魚類の生活史戦略と個体群動態に関する研究. 日水誌, **72**, 628-631. [Kaeriyama, M. (2006) Studies on history strategy and population dynamics of salmonids. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **72**, 628-631 (in Japanese).]
- 帰山雅秀・文谷俊雄 (1982) サケの稚魚期から幼魚期への発育段階における形態的、生態的特徴. 日水誌, **48**, 1537-1544. [Kaeriyama, M. and T. Bunya (1982) Morphological and ecological characteristics of phasic development from fry to fingerling in the chum salmon. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **48**, 1537-1544 (in Japanese with English abstract).]
- 小林哲夫 (1961) サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の年齢、成長並びに系統に関する研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, **16**, 1-102. [Kobayashi, T. (1961) Biology of chum salmon, *Oncorhynchus keta* (Walbaum), by the growth formula of scale. *Sci. Rep. Hokkaido Salmon Hatchery*, **16**, 1-102 (in Japanese with English abstract).]
- 小林哲夫 (2009) 日本サケ・マス増殖史. 北海道大学出版会, 札幌, 310 pp.
- 工藤飛雄馬・井ノ口伸幸・木島明博 (2001) 総当たり交配

- によるニジマスの成長における遺伝率の推定. 水産増殖, **49**, 243-251. [Kudo, H., N. Inoguchi and A. Kijima (2001) Estimation of heritability for growth by factorial mating system in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquacult. Sci.*, **49**, 243-251 (in Japanese with English abstract).]
- 栗田 豊・斎藤寿彦・有瀧真人 (2010) 三陸沿岸域におけるサケ稚幼魚の成長, 食性, およびニシン仔稚魚との生態的關係. SALMON 情報, **4**, 9-11.
- 森田健太郎・高橋 悟・大熊一正・永沢 亨 (2013) 人工ふ化放流河川におけるサケ野生魚の割合推定. 日水誌, **79**, 206-213. [Morita, K., S. Takahashi, K. Ohkuma and T. Nagasawa (2013) Estimation of the proportion of wild chum salmon *Oncorhynchus keta* in Japanese hatchery rivers. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **79**, 206-213 (in Japanese with English abstract).]
- 永田光博 (2009) サケ類増殖事業の歴史と将来展望. サケ学入門 (阿部周一編), 北海道大学出版会, 札幌, pp. 19-34.
- 永田光博・山本俊昭 (2004) サケ属魚類における「人工孵化」の展望. サケ・マスの生態と進化 (前川光司編), 文一総合出版, 東京, pp. 213-242.
- 野川秀樹 (2010) さけます類の人工ふ化放流に関する技術小史 (序説). 水産技術, **3**, 1-8. [Nogawa, H. (2010) Development of artificial salmon propagation in Japan—a foreword—. *J. Fish. Tech.*, **3**, 1-8 (in Japanese with English abstract).]
- 野川秀樹・八木沢 功 (2011) さけます類の人工ふ化放流に関する技術小史 (飼育管理編). 水産技術, **3**, 67-89. [Nogawa, H. and I. Yagisawa (2011) Development of techniques for rearing juvenile chum salmon in artificial propagation in Japan. *J. Fish. Tech.*, **3**, 67-89 (in Japanese with English abstract).]
- Pakkasmaa, S., N. Peuhkuri, A. Laurila, H. Hirvonen and E. Ranta (2001) Female and male contribution to egg size in salmonids. *Evol. Ecol.*, **15**, 143-153.
- 佐藤良三・東 照雄・武藤光司 (2006) PIT tagを用いた個体識別法による日光系ニジマス (*Oncorhynchus mykiss*) の成長率に関する遺伝率の推定. 水産総合研究センター研究報告, **16**, 1-7. [Sato, R., T. Azuma and K. Muto (2006) Estimation of the heritability for growth rate in the Nikko strain rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using the individual identifying method with passive integrated transponder (PIT) tags. *Bull. Fish. Res. Agen.*, **16**, 1-7 (in Japanese with English abstract).]
- 水産総合研究センター (2012) 平成22年度さけますセンター業務報告書. 独立行政法人水産総合研究センター, 横浜, 130 pp.
- Yamamoto, T. and U. G. Reinhardt (2003) Paternal effect on otolith size at emergence in masu salmon. *J. Fish Biol.*, **62**, 1226-1231.