

# 飼育一年目に特異的なスマルト変態をする池中継代飼育サクラマスにおける0+スマルトの出現機構および戻りの分化過程

誌名	北海道立水産孵化場研究報告 = Scientific reports of the Hokkaido Fish Hatchery
ISSN	02866536
著者	黒川, 忠英 宮本, 真人 小島, 博
巻/号	40号
掲載ページ	p. 87-94
発行年月	1985年12月

飼育一年目に特異的なスマルト変態をする池中継代  
飼育サクラマスにおける0<sup>+</sup>スマルトの  
出現機構および戻りの分化過程

黒川 忠英・宮本 真人・小島 博

(北海道立水産孵化場)

Smoltification Mechanism in Underyearling and Differentiation  
Process of Regressive Smolt from Underyearling Smolt in  
Masu Salmon, *Oncorhynchus masou*, that Aquired Ability of  
Premature Smoltification

Tadahide Kurokawa, Mahito Miyamoto and Hiroshi Kojima

(Hokkaido Fish Hatchery)

**Abstract**

Some observations were carried out in order to define the smoltification mechanism in underyearling and regressive phenomenon of underyearling smolt by using Mori strain of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) which was reared at the Erimo Hatchery. The rate of population over 6-7 cm (fork length) in May 1st nearly coincided with smolting rate in underyearling. The smoltification has started before the decision of maturity in Mori strain. In 1983 year class, the rate of underyearling smolt was 31.3% and 51.5% of it regressed to parrs by March in 1984. Thereafter 91.9% of this regressive smolts transformed into smolt again and the rest remained parrs in June 1984. The differentiation process of regressive smolt resembled closely the one of undifferentiated parr. From these results, it is suggested that the starting size of smoltification is 6-7 cm (fork length), and the size of it is much smaller than that of natural fish, therefore the smolting rate in underyearling is risen to high level while the rate of precocious male is restrained to low level. And the regressive smolt can be used as fish for yearling smolt release.

サクラマス資源管理の方法として、スマルト放流の有効性が認められつつある。しかし通常ではスマルトとなるのが1<sup>+</sup>または2<sup>+</sup>の春であるため、効率の面からいって、サケと同様に0<sup>+</sup>でスマルト化する群は優良系群になり得る可能性がある。現在、極端な低成長の場合を除き、普通の飼育条件下で天然魚と比較した場合高い率で0<sup>+</sup>スマルトが出現する系群として森池産群<sup>1)</sup>や小出池産群<sup>2)</sup>などが知られている(加藤, 1983; 小島・喜多, 1984; 佐藤ら, 1984)。しかし、これらの系群でなぜ高率に0<sup>+</sup>スマルトが出現するかについては、今まで合理的な説明はなされていなかった

北海道立水産孵化場研報 第373号

1) 北海道立水産孵化場養魚場で池中継代飼育されたサクラマス。

2) 新潟県内水試小出工場で池中継代飼育されたサクラマス。

た。また、 $0^+$  スモルトの種苗性についていろいろな問題点が指摘されており (例えば Yamauchi *et al.*, 1984), スモルトがパーの状態に退行してしまう戻り現象 (久保, 1980) もその一つである。ギンザケの海中養殖ではこのようなパー型に戻った魚が成長不良を示す事が知られており (Mahnken *et al.*, 1979, 1982) サクラマスにおいても放流された $0^+$  スモルトからこのような魚が高率に出現するならば、何らかの問題が生じる可能性がある。つまり、形態的に銀白化するばかりでなく、低浸透圧調節能の発達など生理面においても完全でなければ真のスモルトとはいえない (例えば Wedemeyer, 1980)。真のスモルト化メカニズムの解明において、 $0^+$  スモルトの出現と戻り現象は相互に関連する重要な問題である。

そこで、まず森池産群を用いて形態的な $0^+$  スモルトの出現機構の解析を試みるとともに、生理的不完全さの表れの一つと考えられる戻り現象を明らかにする一步として、 $0^+$  スモルトからパーに戻ったものがその後どのような分化過程を示すかについて調査を行なったので報告する。

なお、本研究は「マリンランシング計画 (サクラマス)」(農林水産技術会議別枠研究) の一環として行なったものである。

## 材料および方法

1983年と1984年に (以下それぞれ1983年群, 1984年群) 北海道立水産孵化場森支場 (北海道渡島地方) で採卵し、発眼卵で同えりも支場 (北海道日高地方) へ移植したものを材料に用いた。飼育はともに浮上後野外池 (2×23 m) で行なった。両群について4～9月の各月で1～2回、尾叉長, 体重, 性別, タイプなどについて調査した。なお、原則としてスモルトの判定には背鰭頂端部の黒化と体表の銀白色化を基準とし、スモルトからパーに退行した魚を戻りとした。

1983年群については、1984年7月31日～8月2日と9月4日の2回のスモルト選別を行ない、この $0^+$  スモルトのうち約300尾を屋内池 (半径1 m) に収容し、1984年12月14日と1985年3月8日の2回、戻りとなった個体を選別し別の屋内池 (半径1 m) に収容した。これらスモルトと戻りを1985年6月5日にすべて取り上げ、魚体測定を行なった。なお、体長は0.1 mm までのノギスにより尾叉長を、体重は0.01 g の電子天秤により測定した。したがって、以後体長はすべて尾叉長を意味する。

また、両群の最終的な $0^+$  スモルト出現率は、1983年群では1984年9月4日時点、1984年群では1985年9月9日時点のものを用いた。また、 $0^+$  成熟雄出現率は、1983年群では1984年8月4日、1984年群では1985年8月1日時点のものを用いた。

## 結 果

### $0^+$ スモルトの出現について

Table 1 は両群の $0^+$  スモルト出現時期までの成長を比較したものである。5月1日に換算して体長の差は0.7 cm, 6月1日で0.6 cm, 7月1日で1.2 cm, 7月17日で約1.6 cm の差があった。

両年のスモルト率の変化を Table 2 に示した。スモルト率は、成長の良かった1983年群が高率であるのに対し、

**Table 1.** Seasonal changes of fork length (cm) in each group of 0<sup>+</sup> juvenile masu salmon in 1983 and 1984 year class

	4.27	5.31	7.2	7.16	8.2	9.5
1984						
parr	5.77±0.63	7.37±0.58	9.35±0.63	9.98±0.81	10.1±0.82	11.11±0.82
d. parr				10.63±0.63	11.6±1.06	12.14±0.81
smolt					11.4±0.55	12.86±0.84
1985	5.7	6.4	6.28	7.18	8.1	9.2
parr	5.49±0.45	6.86±0.57	7.82±0.59	8.08±0.71	9.28±0.86	10.97±0.65
d. parr				9.27±0.47	10.39±0.37	11.97±0.53
smolt				10.48±1.13	11.21±0.60	13.12±0.63

±×: standard deviation

**Table 2.** Changes in the frequency of underyearling smolt and precocious male

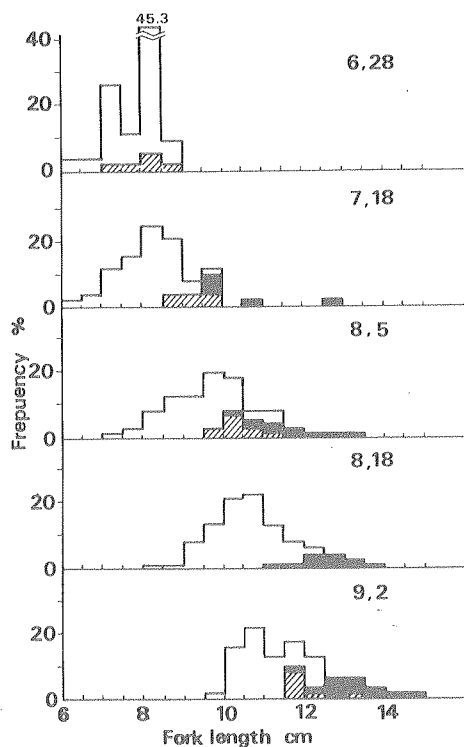
	1984			1985	
	8,2	9,4	8,5	8,19	9,9
smolt (%)	21.2	31.3	12.1	16.5	16.4
d. parr (%)	7.8	6.7	14.6		11.5

成熟雄率は逆に低率となった。

スマルトの出現は1984年群の場合7月中旬頃始まり、ピークは8月中旬頃であった。一方、目視観察結果から、1983年群では7月上旬頃出始め、ピークは8月中旬頃で、出現時期が1984年群に比べ一旬程度早かった。1984年群の6月から9月の体長分布変化を Fig. 1 に示した。7月中旬頃、9.5 cm 以上で成熟に向かわなかったものが概ねスマルト化した。しかし、8月上旬から中旬にかけてスマルト変態のピーク時期にもかかわらず10 cm を越えた一部分しかスマルト化しなかった。

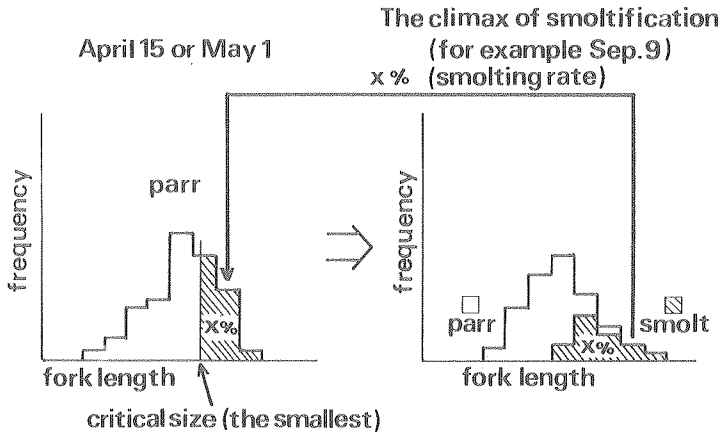
スマルトの性比は1983年群では雌が38.2%、1984年群では53.2%であった。1983年群では雄の比率が著しく高いが、1984年8月2日時点でスマルトの体長は雌で11.46±0.50 cm、雄で11.40±0.60 cm と両者に体長などの差は見られなかった。

0<sup>+</sup>スマルトの出現には、春までの成長が大きくかかわっている事が指摘されている。小島・喜多 (1984) は森池産群の森鱒化場における飼育結果では、5月1日の尾叉長平均とその群のスマルト出現率には強い相関(r = 0.956)がみられるとした。この相関は、スマルト変態の1~2カ月前に、スマルト化する個体はすでに決定されていることを強く示唆するものである。そこで、スマルト化決定がなされる時期に、ある体長レベルに達している個体がスマルトになるとし、その体長レベルが何 cm であるかを推定した。すなわち、ある群の0<sup>+</sup>スマルト出現率



**Fig. 1.** changes in the frequency of fork length during the smoltification in 1984 year class.

□ parr. ▨ precocious male. ■ smolt.



**Pick out larger fish in the parrs. The smolting rate is x%.**

Fig. 2. The inference of the critical size on the start of smoltification. (On the basis of the hypothesis that the parrs over the critical size is switched on the smoltification on April 15 or May 1.)

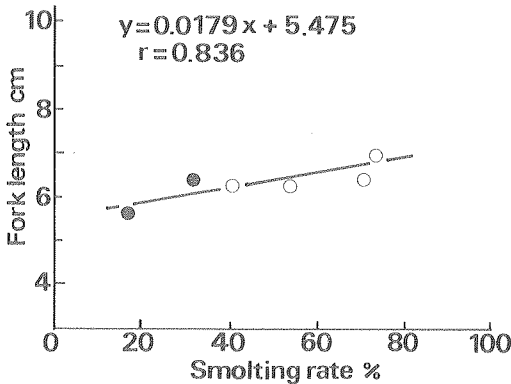


Fig. 3. The relation between the 0+ smolting rate and the critical size (Fig. 2) on the start of smoltification.

● Erimo Hachery data in May 1 ; ○ Mori Hachery data in April 15.

が x%であったならば、5月1日時点 (スモルト化決定がなされる時期と仮定) まで通り、その群の上位 x%の範囲内にあるうちの最小個体の体長を算出し、それを境界体長とした (Fig. 2)。1983年群では出現率が 31.3%であり、5月1日当時で 6.1 cm 以上の個体が全体の 31.3%を占め、1984年群の出現率は 16.4%で、5.6 cm 以上の個体が全体の 16.4%にあっていた。また、渡島地方と日高地方でスモルト出現時期を比較すると前者では 4

月下旬～5月下旬、後者では5月中旬～6月初旬 (待島・加藤, 1981) と半月程度の差があるので、森孵化場のデータでは4月15日を基準に境界体長を算出した。この結果、境界体長は 6～7 cm の範囲に収束した (Fig. 3)。

戻りの分化過程について

1983年群について1+の春までの発育過程をまとめたものが Fig. 4 である。ここでの性比はそのつどの測定結果から得たものなので、前後の数値が整合性を持たない所があるが、概ね性比の傾向は示している。また、数は Total を 1000 とし、各時期の比率から計算しており死亡は考慮しないものとした。実際、飼育中の斃死は無視できる程度であった。

前述のように、スモルトの性比は9月4日で雄が 61.8%と著しく比率が高く、その影響の有無は不明だが、戻りは12月の時点でスモルト全体の 30.3%にも達し、雌の 27%、雄の 32%が戻りになった。3月の時点では全体の 51.5%に達し、雌の 47.7%、雄の 53.2%が戻りになっており、いずれも雄の戻り率が高かった。

Fig. 5 に12月14日のパー、スモルトおよび戻りの体長分布を示した。戻りは明らかにスモルトのうちの小型個体であり、しかもパーと同程度の成長にとどまっていた。

6月5日の時点で各グループの分化状況は次のようになった。

(1) 春までスモルトを維持した群ではそのうちの 26%が戻りとなったが、これらは成熟に向かっており、いわゆるブナの状態で判断され、戻りとは異なった意味を持つ。この成熟に向かったものは中でも大型の個体ですべて雄であった。

(2) 戻りとして選別された群では3タイプに分かれた。一つは、成熟に向かった雄 (20.1±1.6 cm) で、大型の個

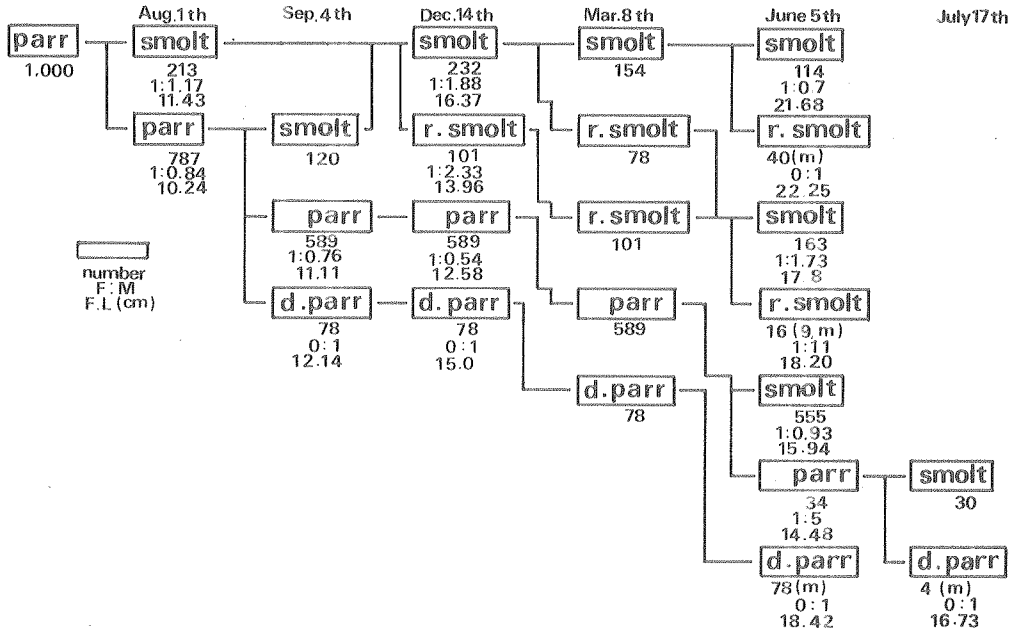


Fig. 4. The process of differentiation and the changes of fork length and sex rate in each group during the period from the 10-months post-hatch juveniles to the 21-months in 1983 year class.

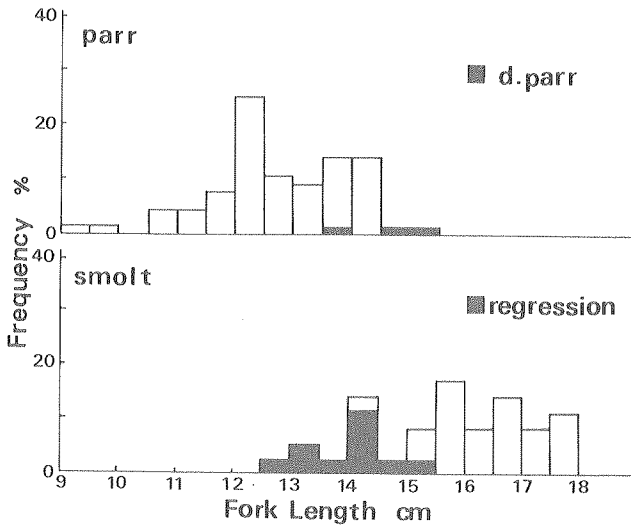


Fig. 5. The comparison of fork length among parr, smolt and regressive smolt on 1984, 12, 14 in 1983 year class.

体であった。しかしこれらは(1)の成熟雄と同じタイプのもので判断され、戻り群からの分化ではなく(1)の成熟雄に加えるのが妥当である。したがって、前述の3月時点での戻り率にこれらの雄は含めていない。第二のタイプは再びスマルトになったもの (17.8 cm ± 1.48 cm) である。つまり戻りのうち 91.1%が再びスマルトになった。第三は、パーのままであったタイプ (15.6 ± 0.6 cm) で、小型の個体が多かった。

(3) 前年成熟した雄はすべて再び成熟に向かっていた。

(4) パーのままであった群では、まず6月5日の時点で 94.3%がスマルトにな

り、5.7%はパーのままであった。このパーを7月17日まで飼育した結果そのうちの 88%は遅れてスマルトになっており、残りはすべて雄で成熟に向かっていた。体長的にはパーのままであった個体は小型のものが多かった。

以上の事をまとめると、戻りは前年未分化パーであったものとほとんど同じ分化を示し、その大部分が翌春再びスマルト化した。成長の悪かった一部の雄はパーのままであった。

## 考 察

すでに得られている知見なども合わせ森池産群の0<sup>+</sup>スモルトの出現に関する特徴をまとめると次のようになる。

(1)スモルトの出現時期はその成長状況に左右され、その出現開始時期は5～7月というように遅延現象がみられる。しかし、出現開始から終了までは1～2カ月間である(小島・喜多, 1984)。

(2)以前は0<sup>+</sup>スモルトは雌の比率が高かったが(阿刀田, 1974; 宇藤, 1980), 現在では雌雄の成長差がなければその性比はほぼ1:1に近いと考えられる(新谷, 1982; 小島・喜多, 1984)。

(3)以前は0<sup>+</sup>成熟雄がその成長状況に左右され20～50%もみられたが(阿刀田, 1974; 宇藤, 1980), 現在ではその成長状況にかかわらず10%前後である(小島・喜多, 1984)。

(4)0<sup>+</sup>スモルト出現率は、春までの成長に左右され、例えば5月1日の平均尾叉長と出現率には強い相関がある(小島・喜多, 1984)。外見的にはスモルトになるのはだいたい10 cmを超えた個体である。したがって、スモルト出現の1～2カ月前にすでにスモルト化の決定がなされている可能性が強く、その境界となる体長レベルを推定した場合、5月1日時点で6～7 cmの範囲にあった。

現在ではサクラマス稚魚の分化に関しては、宇藤(1980)の言うスイッチメカニズムに似た機構が働いているという考えが支持されつつある。その部分を引用すると、

(1)雄魚の場合70～80 mmの体長で示された発育状態に達すると成熟が可能となり、春～夏にかけての季節的条件下では成熟へ向かう。

(2)雌、雄ともに80～90 mmの体長で示された発育状態に達すると銀毛化変態が可能となり、秋～春にかけての季節的条件下で銀毛化変態する。

(3)性成熟は銀毛化変態を抑制する。

(4)或る段階以後に銀毛化変態が進行した後はこれによって性成熟が抑制される。

この基本的メカニズムの(2)の体長レベル“80～90 mm”を“60～70 mm”に変える事のみで0<sup>+</sup>スモルト出現の特異性をほとんど説明できる。つまり、森池産群では春という季節的条件下に反応可能な発育レベルが6～7 cmに変化していると考えられる。0<sup>+</sup>スモルトの性比が1:1であるためには、スモルトへの決定が雌、雄ともに全くの未分化の状態等でしく起こらなければならない。したがって、地域によって若干の差はあるが、その時期は雄の成熟決定がなされる6月以前でなければならない。スモルトへの決定が起こる時期、発育レベルとも数値そのものは今のところ確定できないが、(今回は5月初旬、6～7 cmとしている)反応を起こす刺激および時期は天然魚の場合に近いと考えられる。

スモルト変態の進行後には性成熟が抑制されるとすれば、0<sup>+</sup>雄の成熟はスモルトへ向かわなかったもののうち、6月中旬頃までに7～8 cmに達したものであるという事になる。したがって、その年の成長がどのような状況であっても成熟の可能性があるのは、5月初めには常に6～7 cm以下(スモルト化への反応が可能なレベル以下のもの)であり、1～2カ月に7～8 cmを超える成長をしたものである。そのため、その年の成長状況にあまり左右されず0<sup>+</sup>

成熟雄の出現率は10%程度で、あまり変動しないのではないかと考えられる。

外見的にスマルトとなるのは約10 cm以上という点では天然魚の場合と変わっていないため(宇藤, 1980), スマルトの出現時期は年により変動が大きいと考えられる。つまり、森池産群の特徴は、春までに6~7 cm以上の成長をしたものがスマルトへの権利を獲得し、約10 cmに達したものがスマルトになるというものである。しかし、天然魚の場合春までに8~9 cmに達するような成長をさせたとしてもスマルト出現率は低い事が指摘されている(加藤, 1983; 佐藤ら, 1984)。つまり天然魚では単に発育レベルだけでなく、例えば2回目の高成長期でなければ反応しないなど別のメカニズムも働いている可能性があるが、森池産群では発育レベルが最も重要な要因となっていると考えられる。

Fig. 3で境界となる体長レベルが6~7 cmの範囲内にある事を示したが、さらに傾きは小さいものの、スマルト出現率が高い時ほど体長レベルも大きくなる傾向も示している( $y = 5.475 + 0.0179x$ ,  $r = 0.836$ )これは天然河川において、成長不良がスマルト年齢の引き上げよりもスマルト体長の引き下げに影響する(杉若・小島, 1984)という事に関係しているかもしれない。

1973年当時、0<sup>+</sup>スマルトは雌の比率が高く、成熟雄も多かった事については詳しいデータがないので推測の域でないが、その当時でも同じように春にかけての季節的条件によりスマルト化の決定がなされていたと予想される。しかし、現在よりもその反応可能な発育レベルが大きく、しかも、その決定力は6月頃では性成熟を完全に抑制するまでには到っておらず、雄はかなり成熟してしまったのではないかと考えられる。

戻りがなぜ起こるのかは今のところ不明だが、現象的にはいくつかの特徴がみられる。Fig. 5で示したように、戻りはスマルトのうちの小型個体であり、しかもパーの最大よりも小型のスマルトは、ほとんど戻りになっている。Mahnken (1982) はギンザケの海中養殖において、パーの最大よりも小型のスマルトは、ほとんどが戻りになると述べており、サクラマスにおいてもこのような関係があるのかもしれない。しかし、成長が悪かったために戻りになったのか、戻りになったために成長が悪く小型なのか不明である。戻りの分化過程については、1<sup>+</sup>の春に、未分化パーとほとんど同じパターンを示し、そのほとんどが再びスマルトになった。しかし、現象的にはスマルトになったものの、生理的にも初めてスマルトになったものと同じかどうか関心の持たれるところである。

また、戻りのうちのわずか8.9%ではあるが、6月5日の時点でスマルト変態せずパーのままの群があった。これらは体長的にみれば0<sup>+</sup>の時点ですでにスマルト変態可能な体長レベルに達しているにもかかわらずスマルトにはならなかった。これらがこの後どうなるかは不明だが、未分化パーの場合と同様に成熟雄が出現するならば興味深い。

## 要 約

1. 飼育一年目に、特異的に高い率でスマルトが出現する系群における0<sup>+</sup>スマルトの出現機構および0<sup>+</sup>スマルトから出現する戻りの分化過程の解析を、森池産サクラマスを用いて行なった。
2. 5月1日における6~7 cm以上の個体の比率と、その後のスマルト出現率がほぼ一致した。
3. 1983年群では31.3%の0<sup>+</sup>スマルトが出現し、そのうち51.5%が翌3月までに戻りになった。
4. 戻りは未分化パーとほぼ同じ分化過程を示し、翌春そのほとんど(91.9%)が再びスマルト化した。
5. 森池産サクラマスでは、成熟が開始される以前にスマルト化が開始され、その反応可能な尾叉長が6~7 cmと普通よりも小さいために、高率に0<sup>+</sup>スマルトが出現し、成熟雄率が低く抑えられていると推察される。



6. 戻りは、そのほとんどが翌春再びスモルト化するので1+スモルトでの放流種苗として利用できる可能性がある。

## 文 献

- 新谷康二(1982). 池中養殖サクラマスによる種卵生産事業の現況. 魚と水, 20: 1-7.
- 阿刀田光紹(1974). 池中養殖サクラマスの生態に関する知見. I. 種苗の初期生残率, 性比, 0年魚の分化及び親魚の孕卵数. 北海道水産孵化場研報, 29: 97-113.
- 加藤禎一(1983). 池中飼育サクラマスの成熟とスモルト化. サクラマス研究グループレポート(3), 北海道さけ・ますふ化場1-12.
- 小島 博・喜多正広(1984). 池中継代飼育サクラマス零歳魚の銀毛化変態と早熟雄の出現. 北海道水産孵化場研報, 39: 113-121.
- 久保達郎(1980). 北海道のサクラマスの生活に関する研究. 北海道さけ・ますふ化場研報, 34: 1-95.
- 待鳥清治・加藤史彦(1985). サクラマス (*Oncorhynchus masou*) の産卵群と海洋生活. 北太平洋漁業委員会研報, 43: 1-112.
- Mahnken, C. V. W., and F. W. Waknitz (1979). Factors affecting growth and survival of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and chinook salmon (*O. tshawytscha*) in saltwater net-pens in puget sound. Proc. World Maricult. Soc., 10: 280-305.
- Mahnken, C., E. Prentice, W. Waknitz, G. Monan, C. Sims, and J. Williams (1982). The application of recent smoltification research to Public Hatchery releases: An assessment of size/time requirements for Columbia River Hatchery Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Aquaculture, 28: 251-268.
- 佐藤良三・福田善三・阿久津梅二(1984). サクラマス0年魚におけるスモルトと戻り. サクラマス研究グループレポート(4), 北海道さけ・ますふ化場: 9-19.
- 杉若圭一・小島 博(1984). 厚田川におけるサクラマス幼魚のスモルト化に及ぼす生息密度の影響. 北海道水産孵化場研報, 39: 19-37.
- 宇藤 均(1980). サクラマス *Oncorhynchus masou* Brevoort の生活史と分態分岐. 特に河川生活期について. 北大水産学部博士論文.
- Wedemeyer, G. A., R. L. Saunders, and W. C. Clarke (1980). Environmental factors affecting smoltification and early marine survival of anadromous salmonids. Marine Fisheries review, 42: 1-14.
- Yamauchi, K., N. Koide, S. Adachi, and Y. Nagahama (1984). Changes in seawater adaptability and blood thyroxine concentrations during smoltification of the masu salmon, *Oncorhynchus masou*, and the amago salmon *Oncorhynchus rhoduryus*. Aquaculture, 42: 247-256.