

---

---

# 北海道立水産孵化場研究報告

第 64 号

平成 22 年 3 月

---

---

SCIENTIFIC REPORTS  
OF THE  
HOKKAIDO FISH HATCHERY

No.64  
MARCH, 2010

---

北海道立水産孵化場

061-1433 恵庭市北柏木町 3 丁目 373 番地

# 北海道立水産孵化場研究報告

## 第 64 号 (2010)

### 目 次

---

青山 智哉・大森 始・飯嶋 亜内・村上 豊・伊澤 敏穂・卜部 浩一・宮腰 靖之 池産系および遡上系サクラマスから生産されたスモルトの河川回帰率の比較……………	1-6
虎尾 充・竹内 勝巳・佐々木義隆・春日井 潔・村上 豊・永田 光博 当幌川におけるカラフトマス放流魚と野生魚の降河生態……………	7-15
宮本 幸太・高橋 史久・佐田 巖・羅津 三則・小松 信治 ・桑木 基靖・徳田 裕志・吉田 昇・伴 真俊 サケの発眼率とスパマトクリット, pHおよび精子運動時間との関係 ……………	17-22
<b>短 報</b> 虎尾 充 網走湖産ワカサギ降海移動期の発育段階と栄養状態……………	23-27

---

## 池産系および遡上系サクラマスから生産されたスモルトの 河川回帰率の比較

青山 智哉\*・大森 始・飯嶋 亜内・村上 豊  
伊澤 敏穂・卜部 浩一・宮腰 靖之

北海道立水産孵化場

### Comparison of adults return rates of hatchery-reared smolts originating from captive-brood and wild masu salmon

TOMOYA AOYAMA\*, HAJIME OMORI, ANAI IJIMA, YUTAKA MURAKAMI  
TOSHIO IZAWA, HIROKAZU URABE and YASUYUKI MIYAKOSHI

*Hokkaido Fish Hatchery, Kitakashiwagi 3-373, Eniwa, Hokkaido 061-1433, Japan*

**Abstract** A total of 53,511 and 27,261 age-1 hatchery-reared smolts originating from first generation captive-brood and wild masu salmon (*Oncorhynchus masou*) were marked with a fin clip and released into the Ken-ichi River of southwestern Hokkaido in 2007. Some of them returned to the Ken-ichi River for spawning in 2008, and we estimated the number of fish using mark-recapture. As the number of adult masu salmon from captive-brood and wild age-1 smolts was estimated to be  $537 \pm 103$  and  $746 \pm 155$  respectively, each return rate into the river was calculated as 1.00 and 2.74%.

**Key words** : サクラマス, 親魚, 池産系, 遡上系, 回帰率

北海道に生息するサクラマスは、夏から秋にかけて道東地方を中心に漁獲されるサケ（シロザケ）やカラフトマスとは異なり、冬から春にかけて主に道南地方で漁獲される。サケやカラフトマスの漁獲量は近年増加傾向にあるのに対して、サクラマスの漁獲量は減少傾向にあり、1981年以降において1,000トンを超えたのは2ヵ年のみで、2001年には400トン以下にまで減少した（北海道立水産孵化場, 2008）。

サクラマスの増殖事業はサケ同様に河川へ遡上した親魚をウライなどで捕獲、採卵する方法（以下遡上系）で行なわれてきたが、捕獲後の成熟期間が長いなど卵の安定的な確保が困難なことから、稚魚を放流せずに飼育池で養殖し、親魚まで育てて採卵する方法（以下池産系）も併用されている（阿刀田, 1974）。また、放

流方法については従来、サケと同様に1g前後の稚魚放流が主体であったが（田中ら, 1971；坂本ら, 1984など）、釣りや河川環境の影響を受けない降海型幼魚（スモルト）にまで飼育して、放流する方法も増えている（真山ら, 1985；太田ら, 1986など）。

最近、継代回数が多い池産系サクラマスについてはスモルトの降海時期の遅れ（Koyama *et al.*, 2007）や起源河川の遺伝集団とは異なる特性（Edpalina *et al.*, 2004）が明らかになるなど、種苗性として課題のあることが指摘されている。その対策として、現在の生産は継代回数を1代（以下F1）から2代（以下F2）にとどめる方式が採用されている。

今後とも回帰効果の高い池産系サクラマスの種苗生産を維持するためには、遺伝的変化や放流効果をモニ

\* E-mail: aoyamat@fishexp.pref.hokkaido.jp. Tel: 0123-32-2135. Fax: 0123-34-7233

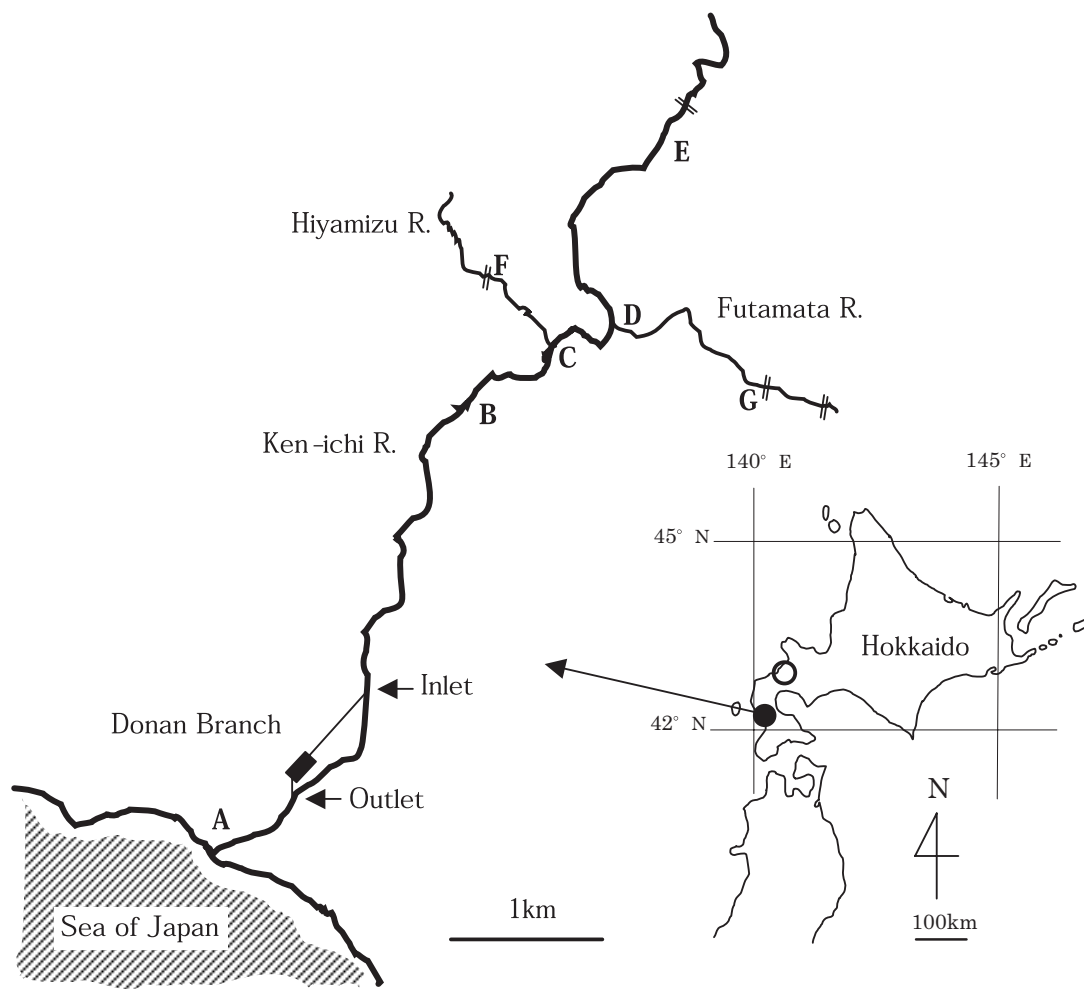
タリングして、問題が確認された場合は改善するといった順応的管理が必要である。これまでも放流効果を評価するために標識放流が行なわれており、池産サクラマスにおいても沿岸漁獲物を対象とした広範囲な調査が行なわれている (Miyakoshi *et al.*, 2002)。しかし、モニタリング調査としては規模が大きく、継続性において困難な面が多い。一方、河川に遡上した親魚をウライによる捕獲や標識再捕により推定し、放流効果や野生魚の評価に用いられている事例も報告されている (宮本ら, 1994; 真山ら, 1985, 1989; 宮腰ら, 2007)。

本研究では、遡上系モルトと継代回数が少ない F1 池産系モルトを同一河川に放流し、河川回帰した親魚数を標識再捕法で推定し、河川回帰率の比較結果から放流効果について検討したので報告する。

## 材料および方法

### 調査場所

調査を行なった見市川は、北海道南西部の日本海側に注ぐ流路延長 15.4 km、流域面積 70.3 km<sup>2</sup> の小規模河川である (Fig. 1)。河口から約 8 km 上流の本流には砂防ダムがあり、魚道が設置されていないためそれより上流へサクラマスは遡上できない。また、河口から約 7 km 上流にも発電用のダムがあり、魚道は設置されているが調査を行なった年はほとんど通水していなかったため、それより上流へのサクラマスの遡上は困難と思われる。サクラマスの遡上が例年観察される支流は 2 本あり、河口から 4.5 km 上流の右岸側に冷水川が、5 km 上流の左岸側に二股川がそれぞれ本流と合流する。冷水川は本流との合流点から 800 m 上流にある魚



**Fig. 1** Area map of study sites of Ken-ichi River (●), and Shiribetsu River (○) as an origin of the captive-brood. A-B: Tagging and release site. A-E, C-F, D-G: Recapture sites.

**Table 1** Number of hatchery-reared masu salmon smolts into Ken-ichi River

Strain	Date	Number of fish	Fork length (cm)	Body weight (g)	Parts of fin clipped
Shiribetsu (captive-brood F1)	14. May. 2007	19,460	14.4	30.2	-
		53,511	14.7	31.3	adipose + left pelvic or dorsal
Ken-ichi (wild)		96,358	14.4-14.7	30.2-31.5	-
		27,261	14.2	28.7	adipose + right pelvic
Total		196,590			

道の無い治山ダムまで、二股川は本流との合流点から約 1.5 km 上流にある魚道が設置されているが機能していない治山ダムまでがそれぞれサクラマスの遡上可能な区間である。したがって、サクラマスの遡上可能範囲をほぼ網羅する見市川本流の河口から 6.1 km、冷水川の本流合流点から 800 m および二股川の本流合流点から 1.1 km の区間で調査を行なった。なお、調査を行なった区間は、保護水面に指定されており、特別な許可が無ければすべての水産動物が採捕できない。

#### スモルトの起源と標識放流

調査対象とした池産系サクラマスは北海道南西部日本海側の尻別川 (Fig. 1) に遡上した親魚から採卵した種苗を、北海道立水産孵化場道南支場内の飼育池で親魚まで育て、その親魚から採卵した卵から生産された尻別川を起源とする池産系 (以下、尻別川池産系) F1 の 1 + スモルトである。一方、遡上系サクラマスは見市川に遡上した親魚から採卵した卵から生産された 1 + スモルトである。なお、見市川には過去 20 年以上に亘り尻別川池産系サクラマスが放流されている。

池産系スモルトは 72,971 尾が生産され、そのうち 53,511 尾 (73%) に脂鰭と背鰭あるいは脂鰭と左腹鰭の二箇所を切除した (Table 1)。また、遡上系スモルトは 123,619 尾が生産され、うち 27,261 尾 (22%) に脂鰭と右腹鰭の二箇所を切除した。2007 年 5 月 14 日にこれら標識スモルトを、無標識魚とともに見市川の河口から 600 m 上流にある道南支場の池尻から見市川へ放流した。放流時の標識スモルトの平均体重は、池産系および遡上系でそれぞれ 31.28 および 28.68 g であった。なお、スモルト以外に 1 g 前後の尻別川池産系稚魚が 2004 年を除き毎年 5 万尾程度放流されている。

#### 標識再捕による回帰親魚調査

2008 年 8 月 22, 25, 26 日および 9 月 9, 10 日にそれぞれ見市川本流の河口から 4 km 上流までの区間において、口径 60 cm のたも網 4 本と目合い 6 cm の投

網 2 反を用いて親魚を採捕し、採捕場所および、雌雄、鰭の切除部位を確認した後、通し番号を記したダーツ型タグを背鰭基底後部付近に付けて採捕場所に放流した。また、調査時にダーツ型タグが付いている個体が採捕された場合は、タグ番号を記録した。

2008 年 9 月 24 日に前述の支流を含めた調査区間において、たも網を用いて斃死個体を含む親魚を採捕し、採捕場所、雌雄、鰭の切除部位およびダーツ型タグの番号を記録した後、鰓蓋にパンチで穴を空け、採捕した場所に放流した。また、9 月 11 日から 10 月 7 日にかけて道南支場の取水口から入ってきた親魚および排水口に遡上してきた親魚をたも網、ひき網を用いて採捕し、採捕場所、雌雄、鰭の切除部位、ダーツ型タグの番号および 9 月 24 日以降は鰓蓋のパンチ穴の有無についても記録した。

#### 遡上尾数および池産系、遡上系スモルトの回帰率推定

サクラマス親魚の遡上尾数の推定は、鰭切除標識魚を含めた全体の遡上尾数と、鰭切除標識魚の遡上尾数については池産系と遡上系別に、それぞれ Petersen 法を用いて以下の式により算出した。また、スモルトの回帰率については推定された回帰尾数を放流尾数で除して算出した。

$$\hat{N} = \frac{N_2 N_1}{M}$$

( $N$ : 推定尾数,  $N_1$ : ダーツ型タグ標識放流数,  $N_2$ : 9 月 11 日以降の採捕数,  $M$ : 9 月 11 日以降のダーツ型タグ標識再捕数)

また、標準誤差 ( $SE$ ) を次の式により計算した。

$$SE = \sqrt{\frac{N(N_1 - M)(N_2 - M)}{M^2}}$$

## 結 果

#### 標識放流および再捕

河川へ遡上したサクラマス親魚へダーツ型タグを付けて放流した尾数は1,027尾であり、そのうち258尾が再捕された。再捕率は25.1%であった。池産系および遡上系スマルトの回帰親魚はタグを付けて放流した中に171および148尾が、再捕された中に50および48尾がそれぞれ含まれていた (Table 2)。再捕時にダーツ型タグが脱落した形跡が認められた個体は僅か3尾 (1.2%) であり、脱落したとしても形跡は明瞭に確認できた。

#### 遡上尾数および池産系、遡上系スマルトの回帰率推定

ダーツ型タグを用いた標識再捕の結果 (Table 2)、見市川に遡上した親魚の総数 (±標準誤差) は5,521 (±268) 尾と推定され、鱭切除標識された池産系スマルトの回帰親魚は537 (±53) 尾、遡上系スマルトの回帰親魚は746 (±79) 尾と推定された。また、河川回帰率 (±標準誤差) は池産系および遡上系でそれぞれ1.00 (±0.10) および2.74 (±0.29)% と計算され、遡上系の回帰率が有意に ( $P < 0.05$ ) 高かった (Table 3)。

## 考 察

河川のサクラマスの遡上親魚尾数を調べた例は少なく、多くはウライ等の捕獲装置での捕獲データを集計したものである (真山ら, 1985, 1989; 宮本ら, 1994)。

唯一、宮腰ら (2007) は北海道日本海側の小規模河川である厚田川において標識再捕法を用いて自然繁殖のサクラマスの遡上親魚尾数を調べた。ただ、母集団そのものが400尾前後と小さいため、年、性別によって推定精度が低いこともあったと報告している。本報告では同様に標識再捕法を用いて、見市川に遡上したスマルト放流由来の回帰親魚を含むサクラマスの親魚尾数の推定を試みたが、母集団が5,000尾を超える大きさであること、見市川は厚田川に比べさらに河川規模が小さいため、標識時には深い淵では投網を、瀬ではたも網を用いた採捕で十分な漁獲効率が得られ、9月下旬の再捕時には瀬を中心としたたも網のみを用いた採捕と、道南支場の取排水口での採捕とで効率よく十分な再捕率 (25% 前後) が得られたことが精度の高い推定に繋がったと考えられる。したがって、見市川においては標識再捕法により放流効果をモニタリングすることは可能であると考えられた。

この方法で推定された池産系親魚の尾数は537尾、遡上系は746尾であったが、これらは鱭切除標識されたスマルトに由来するものである。鱭切除標識スマルトと無標識スマルトとの放流比率から、無標識魚を含めた両系の遡上尾数を計算してみると、池産系が732尾、遡上系が3,383尾となり、全体尾数である5,521尾から差し引いた残りの尾数は1,406尾 (25%) となる。毎年5万尾程度の稚魚放流も実施しているが、過去に

**Table 2** Numbers of masu salmon adults captured, and Petersen estimates in Ken-ichi River in 2008

	All returned fish	Fin clipped fish	
		Captive-brood	Wild
Number of fish tagged ( $N_1$ )	1,027	171	148
Number of fish recovered ( $N_2$ )	1,387	157	242
Number of tagged fish recaptured ( $M$ )	258	50	48
Estimated number of fish returned ( $N$ )	5,521	537	746
Standard error ( $SE$ )	268	53	79

**Table 3** Estimated adults return rates of hatchery-reared smolts originating from captive-brood and wild masu salmon

	Strain	
	Captive-bred	Wild
Number of fish released ( $A$ )	53,511	27,261
Estimated number of fish returned ( $B$ )	537	746
Standard error ( $C$ )	53	79
Return rate (%) ( $B/A$ )	1.00	2.74
Standard error (%) ( $C/A$ )	0.10	0.29

見市川で行なった稚魚放流の沿岸回帰率 (0.22 ~ 0.53%) は、スモルト放流 (2.84 ~ 4.05%) の 1 割程度と低いことから (宮腰, 2006), 1,406 尾の多くが自然産卵由来のサクラマスと考えられる。

池産系および遡上系の河川回帰率は、それぞれ 1.00 および 2.74% と計算された。これまで報告されている河川回帰率は、北海道日本海側の信砂川放流の暑寒別川池産系で 0.31 ~ 0.46% (宮本ら, 1994), 尻別川放流の尻別川遡上系で 0.138 ~ 0.7% (真山ら, 1985; 1989), 斜里川遡上系で 0.004 ~ 0.011% (真山ら, 1989), また斜里川放流の尻別川遡上系では 0.023 ~ 0.039% (真山ら, 1989), 斜里川遡上系では 0.500 ~ 0.821% (真山ら, 1989) となっている。これら既知の結果と比較すると本報告で得られた河川回帰率は、池産系、遡上系ともに高い割合であった。

河川回帰率を比較すると池産系サクラマスは遡上系に比べて低いことが明らかとなった。これまでの報告によると、継代回数が多い池産系 (F3 ~ F5) では、河川起源が同じ遡上系に比べて、遺伝的組成の違い、多様性の低下 (Edpalina *et al.*, 2004), さらにはスモルトの降海時期の遅れ (Koyama *et al.*, 2007) が報告されているが、継代回数が少ない池産系においては、少なくとも遺伝組成の違いや降海時期の遅れは認められていない (Edpalina *et al.*, 2004; Koyama *et al.*, 2007)。

ところで、河川遡上数のデータを用いて遡上系と池産系の回帰率を比較する場合には、継代の有無以外の要因で生ずる影響も考慮することが必要である。たとえば、放流サイズの違いなど放流条件の違いも強く回帰率に影響することが報告されている (Miyakoshi *et al.*, 2001)。見市川に放流された両系のスモルトサイズは、若干池産系の方が大きかったことから、過去のスモルトサイズと回帰率との関係から判断して (Miyakoshi *et al.*, 2001), この差が池産系の回帰率の低下を引き起こす要因とは考えにくい。

一方、池産系と遡上系の起源が同じ集団であることも重要な条件である。たとえば、遺伝的に異なる集団であるサクラマスを交換移殖放流すると、河川回帰率が地元集団の 1/20 以下になるとの報告が尻別川と北海道オホーツク海側の斜里川の遡上系サクラマスで報告されている (真山ら, 1989)。見市川には 20 年間以上に亘り尻別川池産系種苗を放流し続けているため、見市川に回帰した親魚由来の遡上系スモルトも尻別川系サクラマスの血を強く受け継いでいるものと考えられる。ただし、先に考察したように、見市川には自然

産卵し、それから河川回帰したサクラマスも比較的多く見られることから、もともとの見市川起源に加えて、尻別川池産系を起源として放流されてきたサクラマスの中にも見市川に適合した集団が存在している可能性も考えられる。このような見市川遡上系サクラマスと、尻別川を起源として生産され、見市川への回帰を過去に一度も経験していない池産系サクラマスとでは、単純に起源が同じであると考えすることはできず、このことが、本調査結果で示された池産系と遡上系の河川回帰率の違いに影響している可能性は否定できない。

したがって、今後、これらの問題を考慮して、継代回数の少ない池産系と遡上系との放流効果を検証するに当たっては、見市川に回帰した遡上系サクラマスと、一代前に見市川に遡上し、その遡上親魚から生産された同一年級の見市川池産系サクラマスを同一サイズで放流するといった試験設定が必要であろう。

## 要 約

1. 2008 年の 8 月下旬および 9 月上旬に見市川へ遡上したサクラマス親魚 1,027 尾にダーツ型タグを付けて放流し、そのうちの 258 尾を 9 月中旬から 10 月上旬に再捕した。
2. Petersen 法により見市川に遡上したサクラマスは 5,521 (± 268) 尾と高い精度で推定された。
3. 2007 年春に見市川へ放流された池産系と遡上系スモルトの河川回帰率は、それぞれ 1.00 および 2.74% と推定され、遡上系の方が有意に高かった。
4. 本試験で使用した池産系と遡上系は、必ずしも同一河川を起源とした集団とは認められないことから、今後は同一河川に遡上した親魚に由来する種苗をもとに試験放流をすることが必要である。

## 謝 辞

ダーツ型タグの使用方法をご教唆いただきました日高管内さけ・ます増殖事業協会の鷹見達也氏、道南支場の排水口での採捕の際にご協力いただきました北海道立水産孵化場の小出展久氏、畑山 誠氏、小林美樹氏、宮本真人氏、杉村とし子氏、手塚弘子氏、紅谷節子氏、坂本広江氏、中山幸子氏に深謝いたします。

## 文 献

- 阿刀田光紹(1974). 池中養成サクラマス<sup>1</sup>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について. 北海道立水産孵化場研究報告, **29**, 97-113.
- Edpalina, R. R., Yoon, M., Urawa, S., Kusuda, S., Urano, A. and Abe, S. (2004). Genetic variation in wild and hatchery populations of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) inferred from mitochondrial DNA sequence analysis. *Fish Genetics and Breeding Science*, **34**, 37-44.
- 北海道立水産孵化場 (2008). 平成18年度事業事業成績書. 北海道立水産孵化場, 恵庭.
- 春日井潔・藤原 真・小林美樹 (2004). 池産系サクラマスの継代回数と放流後の回帰率の関係. 魚と水, **40**, 64-65.
- Koyama, T., Nagata, M., Miyakoshi, Y., Hayano, H. and Irvine, J. R. (2007). Altered smolt timing for masu salmon *Oncorhynchus masou* resulting from domestication. *Aquaculture*, **273**, 246-249.
- 真山 紘・大熊一正・野村哲一・松村幸三郎 (1985). 尻別川におけるサクラマスのスマルト放流試験 - 1981年春放流標識魚の回帰 -. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, **39**, 1-16.
- 真山 紘・野村哲一・大熊一正 (1989). サクラマス (*Oncorhynchus masou*) の交換移殖試験 2. 地場産魚と移殖魚の降海移動と親魚回帰の比較. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, **43**, 99-113.
- Miyakoshi, Y., Nagata, M. and Kitada, S. (2001). Effect of smolt size on postrelease survival of hatchery-reared masu salmon *Oncorhynchus masou*. *Fisheries Science*, **67**, 134-137.
- Miyakoshi, Y., Nagata, M., Shimoda, K., Sugiwaka, K. and Kitada, S. (2002). Assessment of stocking effectiveness of hatchery-reared age-0 and age-1 masu salmon smolts through a fish market survey in Hokkaido. *Fisheries Science*, **68** (Supplement I), 908-911.
- 宮腰靖之(2006). 北海道におけるサクラマスの放流効果および資源評価に関する研究. 北海道立水産孵化場研究報告, **60**, 1-64.
- 宮腰靖之・鷹見達也・春日井 潔・大森 始・竹内勝巳・永田光博 (2007). 小河川での標識再捕によるサクラマスの遡上尾数の推定. 北海道立水産孵化場研究報告, **61**, 11-18.
- 宮本真人・平野和夫・大久保進一・浅見大樹 (1994). 信砂川および風連別川に放流したサクラマスの回遊と回帰. 魚と水, **31**, 227-231.
- 太田博巳・神力義仁・西村 明・本間正男・松原敏幸・佐藤長蔵 (1986). 突符川に放流された池産1+スマルトサクラマスの降海行動. 北海道立水産孵化場研究報告, **41**, 47-54.
- 坂本博幸・河村 博・田中寿雄 (1984). 池産サクラマス標識魚の回帰(予報). 北海道立水産孵化場研究報告, **39**, 105-111.
- 田中哲彦・石田昭夫・松川 洋・石川嘉郎・薫田道雄 (1971). 人工ふ化サクラマス稚魚の河川放流に関する研究 - 1報 目名川とその支流における分散と定着についての観察. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, **25**, 1-17.



## 当幌川におけるカラフトマス放流魚と野生魚の降河生態

虎尾 充\*・竹内 勝巳・佐々木義隆・春日井 潔・村上 豊・永田 光博

北海道立水産孵化場

### Seasonal timing of downstream migration and migrating speed of the hatchery and wild pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha* fry in the Tohoro River, eastern Hokkaido, Japan

MITSURU TORAO\*, KATSUMI TAKEUCHI, YOSHITAKA SASAKI, KIYOSHI KASUGAI,  
YUTAKA MURAKAMI AND MITSUHIRO NAGATA

*Hokkaido Fish Hatchery, Kitakashiwagi 3-373, Eniwa, Hokkaido 061-1433, Japan*

**Abstract** Downstream migration of wild and hatchery pink salmon fry, *Oncorhynchus gorbuscha*, was investigated in 2007 and 2008 in Tohoro River at Nemuro Strait, Eastern Hokkaido, Japan. All pink salmon fry released from the hatchery were marked by the Alizarin Complexone (ALC) at the eyed-stage. Marked pink salmon fry were released from Tohoro Hatchery (45 km up the river mouth) from late March to mid-April. Pink salmon fry were collected by a rotary-screw trap at the lower site (2.5 km up the river mouth) in Tohoro River during late March to late May in 2007 and 2008. In 2007 and 2008, 9.1% and 48.8% of wild fish (no marked) was contained in the collected pink salmon fry, respectively. Downstream migrant wild pink salmon fry was found from late March to mid-May in Tohoro River, and the peak period for fry migration was early April both in 2007 and 2008. The main group of ALC marked fish were recaptured on three to six days after the release at the lower site. The water temperature in Tohoro River was changed from 2 °C to 14 °C during the release season, but the water temperature or seasonal timing of release have little effect on the migration speed for pink salmon fry.

**Key words** : カラフトマス稚魚, 耳石 ALC 標識, 降河速度, スクリュートラップ

カラフトマス *Oncorhynchus gorbuscha* は、北太平洋におけるサケマス類の中でもっとも漁獲尾数が多く、年間 1.7～3.4 億尾が漁獲される主要な漁業資源の 1 つである (NPAFC Statistical Yearbook, [http://www.npafc.org/new/pub\\_statistics.html](http://www.npafc.org/new/pub_statistics.html), 2009 年 10 月 20 日)。北海道沿岸でも、オホーツク海や根室海峡、道東太平洋において、7～8 月に定置網などによって年間 500～1,500 万尾が漁獲されている (岡本, 2009)。沿岸に帰帰したカラフトマスは、主にオホーツク海と根室海峡に流入する河川に 8 月から 10 月にかけて遡上し、河川の中・

下流域で産卵床を作り産卵する。孵化した稚魚は、北海道では翌春の 4 月から 6 月にかけて降海する (小林・原田, 1966)。また、カラフトマスは、ほぼ全ての個体が 2 年で成熟し産卵後に斃死するために、隣り合った年級群には生殖的隔離があり (Heard, 1991)、偶数年級と奇数年級で異なる資源変動を示すなど、特徴的な資源動態を示す魚種である。

北海道では、サケ *Oncorhynchus keta* と同様に、継続的にカラフトマスの種苗放流が行われており、1980 年代以降は毎年約 1 億 4 千万尾の稚魚が放流されている

\* E-mail: toraom@fishexp.pref.hokkaido.jp. Tel: 0123-32-2135. Fax: 0123-34-7233

(独立行政法人水産総合研究センター, [http://kokushi.job.affrc.go.jp/H20/H20\\_57\\_S.html](http://kokushi.job.affrc.go.jp/H20/H20_57_S.html), 2009年10月20日)。しかし、毎年一定数の種苗放流を実施しているにもかかわらず、カラフトマス回帰資源は隔年で豊漁年と不漁年を繰り返すことが多い。

根室海区におけるカラフトマス資源は、全道的にカラフトマス偶数年級の回帰資源が増大した1990年代にも顕著な増加がみられず、全道的に資源の減少に転じつつある2000年代に入ってからはさらに減少した。本道におけるカラフトマスの資源変動要因については十分に解明されていないが、カラフトマスでは回帰資源に占める野生魚の割合が比較的高い(Morita *et al.*, 2006)と考えられており、産卵親魚の回帰量が翌年の稚魚としての資源加入に影響している可能性がある。したがって、天然産卵由来の稚魚の降下生態やその量的把握は重要と考えられる。しかし、これまで北海道におけるカラフトマス稚魚については知見が少なく、降河稚魚における野生魚(回帰した放流魚の天然産卵由来の稚魚を含む)の存在についても、十分に明らかになってはいない。特に、人工孵化放流用の種卵確保のためにサケマスの親魚捕獲を行っている河川(サケマス捕獲河川)において、野生魚の再生産の有無を明らかにすることは、今後のカラフトマスの資源管理上の基礎的データとして必要である。

カラフトマス増殖技術の面から考えると、近年、稚魚にとって好適な沿岸環境が形成される時期に合わせて放流する「適期放流」の重要性が、あらためて指摘されている。適期放流を実施する上では、放流稚魚が沿岸域へ到達するのに要する期間を明らかにする必要がある。天然産卵由来のカラフトマスは、産卵床から浮上後に直ちに降海を開始することが知られており(Neave, 1955; Hoar, 1956)、サケ科魚類の中ではもっとも河川での滞留時間が短い魚種であるとされる(Heard, 1991)。しかし、北海道におけるカラフトマス放流稚魚の降河速度については知見が少なく、放流後沿岸に達するまでの時間は不明である。

本研究では、根室管内当幌川において、カラフトマス降河稚魚を野生魚と放流魚に識別することを目的に、放流種苗全数に耳石 ALC 標識を施し、下流域においてスクリーントラップによる稚魚の連続採集を行った。これによって、野生魚の存在を確認し、その降河時期を明らかにした。さらに当幌川上流域にあるふ化場から放流されたカラフトマス稚魚が下流域への降河に要する日数を明らかにしたので、報告する。

## 材料および方法

### 調査河川の概要

当幌川は根室湾に面し、野付半島基部に注ぐ流域面積 145.3 km<sup>2</sup>、流路延長 51.2 km の河川である(北海道土木協会, 1995)。本河川は北海道によってサケマス捕獲河川に指定されている。河口から上流約 2.5 km に、(社)根室管内さけ・ます増殖事業協会の当幌川捕獲場があり(Fig. 1, St. 1)、例年、8月上旬から12月上旬にかけて河川を遮断するように親魚捕獲装置(ウライ)を設置し、カラフトマスとサケの親魚捕獲を行っている。また、河口から上流約 45 km に同協会の当幌川ますふ化場があり(Fig. 1)、毎年3月下旬から4月上旬にカラフトマス稚魚約 400 万尾(放流計画数)が放流されている。

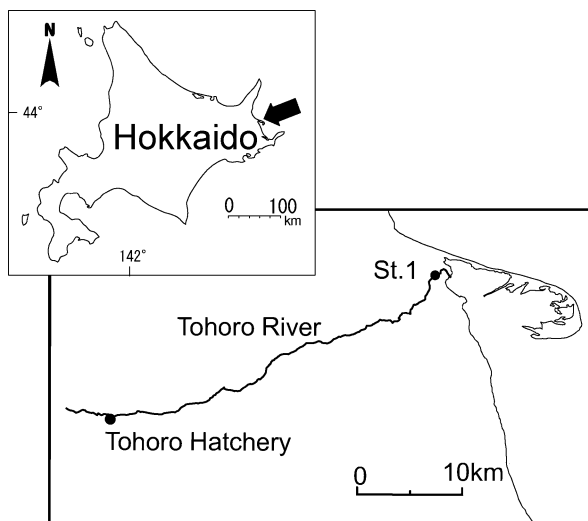


Fig. 1 Map showing the location of Tohoro River. St.1 indicate the site of collection of pink and chum salmon fry.

### 耳石標識の実施と標識魚の放流

放流魚と野生魚を識別するため、2006年級と2007年級のカラフトマスを対象として、耳石に蛍光物質アリザリンコンプレクソン(以下 ALC とする。同仁化学研究所、熊本)で標識を施して放流した。表 1 に標識の種類と放流尾数、放流日、放流時の魚体サイズを示した。耳石 ALC 標識は、発眼卵を 200 ppm の ALC 溶液に 24 時間浸漬して行った。

なお、ALC 標識は、放流時期による降河行動の差異を明らかにするため、放流魚を 2 群に分け異なる標識を施した。2006年級群の標識は積算水温 340 ~ 390 °C

**Table 1** Results of marked pink salmon fry released from Tohorō Hatchery

Blood year	ALC mark group	Number of fish released (thousands)	Release date (Day-Month-Year)	Mean fork length (cm)	Mean weight (g)
2006	Small	1,172	26-Mar-07	3.53	0.25
		1,228	30-Mar-07	3.49	0.24
	Large	1,171	30-Mar-07	3.53	0.24
		1,227	02-Apr-07	3.45	0.24
2007	Small	1,053	02-Apr-08	3.70	0.30
		1,130	02-Apr-08	3.50	0.22
	Double	1,118	18-Apr-08	3.80	0.29
		1,067	18-Apr-08	3.60	0.24

の時期に ALC 標識を行った小リング群と、積算水温 440 ~ 500 °C で標識した大リング群とした。2007 年級群では、積算水温 348 ~ 388 °C で ALC 標識を行った小リング群と、積算水温 348 ~ 388 °C と 400 ~ 425 °C の二度の標識を行った二重リング群とした。

2006 年級群の放流は小リング群を 2007 年 3 月 26 日と 3 月 30 日、大リング群を 3 月 30 日と 4 月 2 日に、それぞれ当幌川ふ化場から無給餌で自然放流した。放流尾数は小リング群が 240.0 万尾、大リング群が 239.8 万尾で、合計約 480 万尾であった。放流時の平均体重は小リング群が 0.24 ~ 0.25 g、大リング群が 0.25 g であった。

2007 年級群では、さらに放流時期に差をつけるため給餌飼育を行った後に放流した。小リング群を 2008 年 4 月 2 日に、二重リング群を 4 月 18 日に当幌川ふ化場から自然放流した。放流尾数は、小リング群が 218.3 万尾、二重リング群が 218.5 万尾、合計 436.8 万尾であった。放流時の平均体重は、小リング群が 0.22 ~ 0.30 g、大リング群が 0.24 ~ 0.29 g であった。

#### 降河稚魚の採集と魚体測定、耳石標識の確認

カラフトマス降河稚魚の採集は、2007 年と 2008 年の 3 ~ 5 月に実施した。河口から約 2.5 km 上流の当幌川捕獲場 (St. 1) にロータリー式スクリュートラップ (E.G.Solution 社製, Oregon, USA) を設置し、原則として毎日、稚魚の回収を行い、カラフトマス稚魚およびサケ稚魚を計数した。2007 年は、4 月 1 日から稚魚の採集を開始し、5 月 31 日まで調査を行った。2008 年は、3 月 25 日から 5 月 20 日まで稚魚の採集を行った。また、設置期間中、当幌川捕獲場に水温データロガー

(HOBO Water Level Logger, U20-001-01, Onset Computer Corporation 製, Borne, USA) を設置し、水温を記録した。

採集したカラフトマス稚魚は直ちに 5% ホルマリンで固定した。その後、耳石の劣化を防ぐため 24 時間以内に 70% エタノールに移して保存した。採集したカラフトマスは、各採集日最大 100 尾について尾叉長と体重を測定した。また、各調査採集ごとに最大 150 尾の耳石を摘出し、蛍光実体顕微鏡システム (BX-RFA, オリンパス光学工業, 東京) を用いて ALC 標識の有無を確認した。ALC 標識を確認した耳石は、熱可塑性樹脂 (Buehler 社, Lake Bluff, USA) でスライドガラスに固定した後、ラッピングフィルム (住友スリーエム株式会社, 東京) で ALC 標識が明瞭に観察できるまで研磨し、ALC 標識の種類を判別した。ALC 標識を確認できなかった個体は野生魚と判断した。各採集日の採集尾数にそれぞれの標識割合を乗じて、野生魚と標識魚の尾数を求めた。

カラフトマス野生魚の降河時期による体サイズの変化、野生魚の体サイズに年級群間で差があるか検討するため、Kruskal-Wallis 法と Mann-Whitney の U 検定で平均値を検定した。

## 結 果

#### カラフトマスおよびサケ稚魚採集尾数

Fig. 2 にスクリュートラップによるカラフトマス稚魚およびサケ稚魚の採集尾数を示した。2007 年には、スクリュートラップ設置翌日の 4 月 2 日からカラフトマスが採集された。カラフトマスの採集は 5 月 18 日ま

で断続的に続き、合計3,715尾が採集された。採集の盛期は4月上旬で、4月3日に最も多い1,248尾が採集された。2008年は、3月24日に当幌川捕獲場にスクリュ

ートラップを設置し、稚魚が採集されなくなった5月20日まで稼働させた。カラフトマス稚魚の採集は、3月25日から5月9日にかけて行い、合計1,655尾を採集した。採集のほとんどが4月上旬に集中し、4月7日に最も多い808尾が採集された。

サケ稚魚は、2007年には4月2日から5月27日の期間に断続的に採集され、合計1,847尾が採集された。採集の盛期は4月10日前後と5月20日に2度見られた。2008年にはサケ稚魚は3月25日から5月18日にかけて合計882尾が採集された。採集の盛期は3月下旬から4月上旬にかけてと、4月下旬から5月上旬にかけて二つの盛期が見られた。

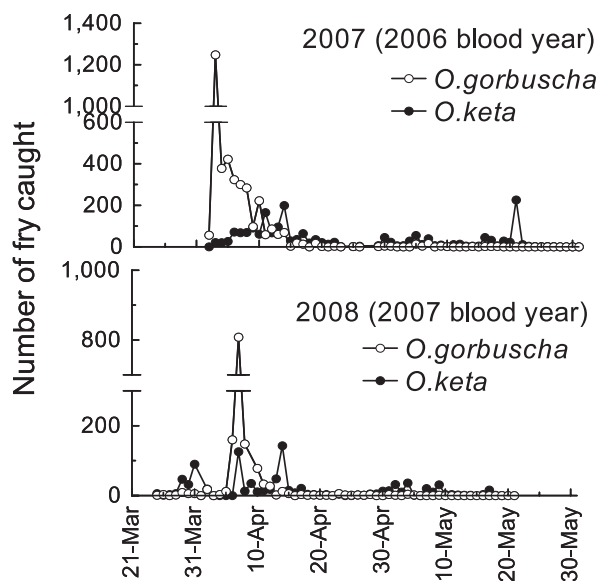


Fig. 2 Seasonal changes in the catch of pink (*Oncorhynchus gorbuscha*) and chum (*O. keta*) salmon fry by the rotary screw trap in Tohoro River, 2007 and 2008.

### 放流魚と野生魚の降河、および放流日と再捕

Fig. 3に耳石 ALC 標識によって識別されたカラフトマス放流魚と野生魚のスクリュートラップによる採集尾数の推移、および放流魚の放流日と放流尾数を示した。2006年級群カラフトマスは合計3,715尾が採集され、小リング群が802尾、大リング群2,575尾の合計3,377尾が放流魚であった。一方、標識の付いていない野生魚は338尾であった。野生魚は4月2日から採集され、4月5日に最も多い53尾が採集された。その後、

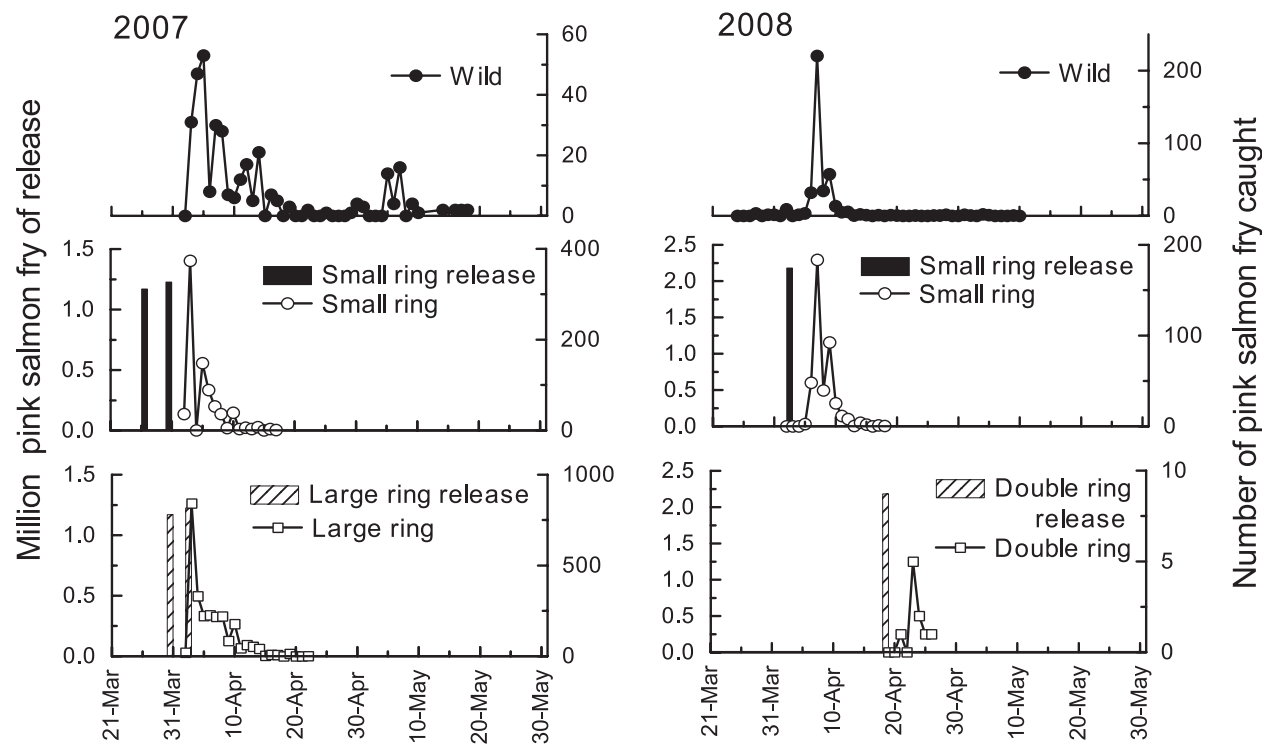


Fig. 3 Numbers of release pink salmon fry (*Oncorhynchus gorbuscha*) and caught at the downstream sampling site in Tohoro River, 2007 and 2008.

採集尾数は減少したが4月下旬にかけて数尾ずつ断続的に採集された。さらに5月上旬には15尾、16尾がまとめて採集され、その後も5月18日まで断続的に採集された。当幌川ふ化場からの放流日と下流の当幌川捕獲場での採集尾数の関係を見ると、2007年3月26日および3月30日にそれぞれ117.2万尾、122.8万尾が放流された小リング群は、回収を開始した4月2日からスクリーントラップでの採集が確認され4月17日まで採集が続いた。4月3日に374尾が採集されたのを最大に合計802尾が採集された。4月8日までに累積採集尾数で90%以上が採集された。また、3月30日および4月2日にそれぞれ117.万尾、122.7万尾が放流された大リング群は、4月2日から4月22日にかけて、合計2,575尾が採集された。採集のピークは、842尾が採集された4月3日であった。累積採集尾数は、4月10日までに90%を超えた。

2007年級の野生魚は3月28日から5月9日まで採集された。4月7日に447尾が採集されたのをピークに、4月上旬に採集が集中した。小リング群は、2008年4月2日に218.3万尾が当幌川ふ化場から放流された。これらの稚魚は放流3日目の4月5日から採集され、放流から5日目の4月7日に最も多い367尾が採集された。4月18日までに合計388尾が採集され、放流後8日の4月10日までに全採集尾数の90%以上が採集された。二重リング群は4月18日に218.5万尾が放流され、放流3日後の4月21日から4月26日にかけて、合計10尾が採集された。放流5日後の4月26日の採集尾数が最も多く5尾が採集された。

#### カラフトマス稚魚の体サイズ

Fig. 4に採集されたカラフトマス野生魚および放流魚の旬別の平均体重の推移を示した。2007年に採集

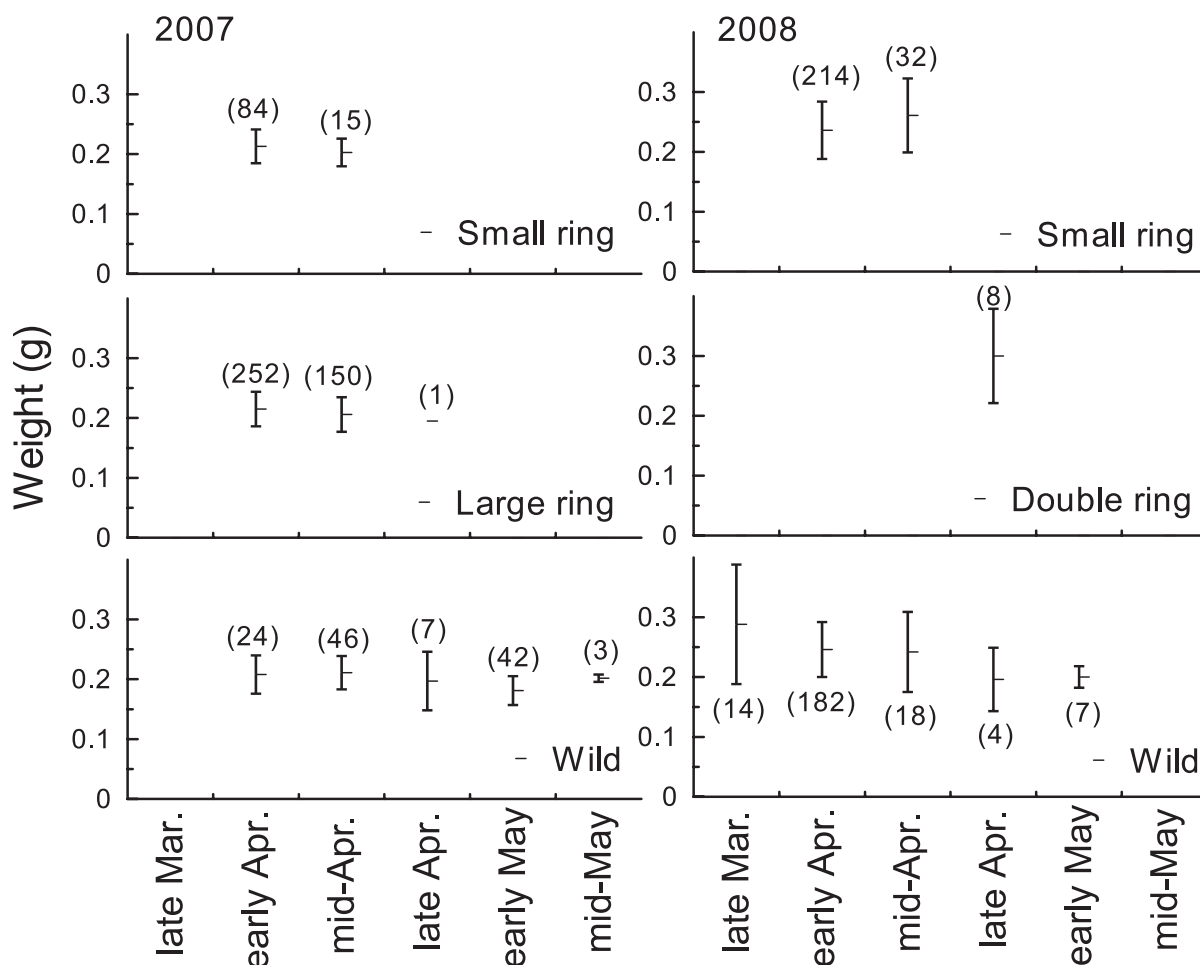


Fig. 4 Seasonal changes in body weight of wild and hatchery pink salmon fry (*Oncorhynchus gorbuscha*) by sample period in Tohoro River, 2007 and 2008. Vertical bars indicate the range of mean  $\pm$  standard deviation. The numbers shows sample size.

されたカラフトマス野生魚の採集旬毎の魚体サイズは、体重 0.13 ~ 0.31 g, 尾叉長 29.1 ~ 34.0 mm の範囲にあった。一方、放流魚は、体重 0.136 ~ 0.290 g, 尾叉長 29.1 ~ 37.7 mm であった。2008 年に採集された野生魚の採集旬毎の平均魚体サイズは、体重 0.196 ~ 0.288 g, 尾叉長 31.94 ~ 34.66 mm の範囲にあった。また、4 月 2 日に放流された小リング群の魚体サイズは体重 0.236 ~ 0.260 g, 尾叉長 34.49 ~ 35.23 mm であった。4 月 18 日の放流された二重リング群は平均体重  $0.30 \pm 0.079$  g, 尾叉長  $35.43 \pm 2.62$  mm であった。採集された野生魚の旬別の平均体重を Kruskal-Wallis 検定で検定したところ、2007 年、2008 年ともに有意差が認められた (2007 年;  $p < 0.05$ ,  $\chi^2 = 25.923$ , 自由度 = 4, 2008 年;  $p < 0.05$ ,  $\chi^2 = 12.150$ , 自由度 = 4)。また、2007 年と 2008 年のカラフトマス野生魚の平均体重を同採集旬で比較したところ、4 月上旬と中旬に採集された稚魚で有意差が認められた (Mann-Whitney の U 検定, 4 月上旬;  $z = 4.235$ ,  $p < 0.001$ , 4 月中旬;  $z = 1.986$ ,  $p < 1.986$ )。

#### 河川水温の変化

当幌川捕獲場で測定した日平均水温の変化を Fig. 5 に示した。2007 年はカラフトマス放流時期の 3 月下旬から 4 月中旬まで水温が 3 ~ 4 °C と比較的低い状態が

続き、4 月中旬以降 8 °C 程度まで上昇した。2008 年には 3 月下旬から 5 °C 前後と比較的高く推移したが、放流直前の 4 月 2 日に低気圧の影響で降雪があり、0 °C まで水温が低下した。その後天候が回復し、4 月中旬まで 5 °C 前後で推移した。二重リング群を放流した 4 月 18 日以降は、8 ~ 10 °C まで水温が上昇した。

## 考 察

本研究では、当幌川に放流したカラフトマス全数に耳石 ALC 標識を施すことによって、降河稚魚を放流魚と野生魚 (回帰した放流魚の天然産卵に由来する稚魚を含む) に完全に判別することができた。採集を行った 2007 年、2008 年ともに当幌川を降河するカラフトマス稚魚に野生魚が含まれることが確認され、ウライを設置し親魚捕獲を行っている当幌川においても、カラフトマス親魚がウライ設置前あるいは設置後の増水時などにウライを乗り越えるなどして、上流に遡上し再生産が行われていることが明らかとなった。採集された降河稚魚に占める野生魚は 2007 年には 3,715 尾中 338 尾 (9.1%), 2008 年には 1,654 尾中 807 尾 (48.8%) であり、両年で大きな差がみられた。両年で放流尾数はほぼ一定であることから、野生魚の降河尾数の差を反映しているものと考えられる。

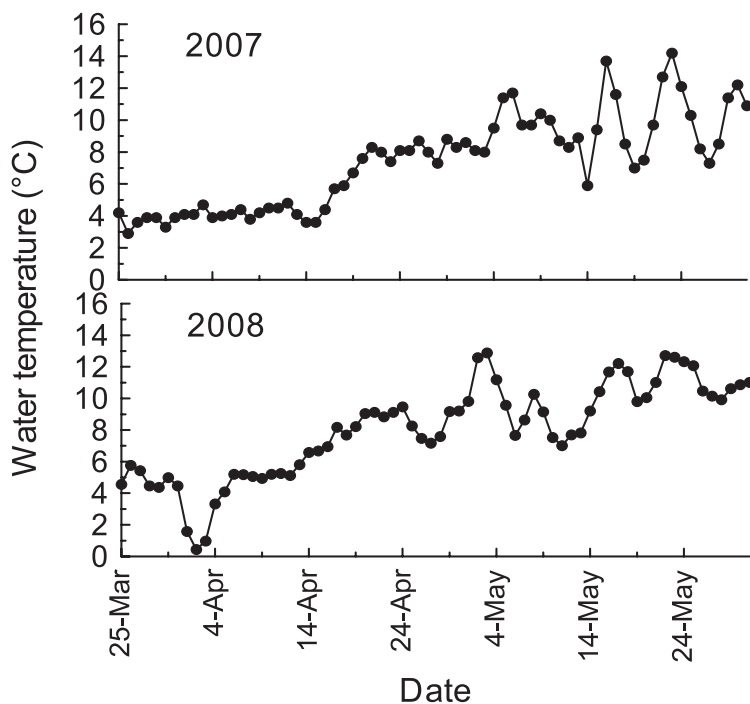


Fig. 5 Diurnal variations in water temperature at st.1 in Tohoro River, 2007 and 2008

当幌川におけるカラフトマス野生魚の降河時期は3月下旬から5月中旬までであり、4月上旬が盛期であると考えられた。隣接の西別川では、カラフトマス野生魚の降河時期は4月下旬～5月上旬を盛期に、4月上旬から6月上旬まで降河が見られるが（小林・原田, 1966）、西別川での調査が行われた1960年代には、カラフトマスの放流は1～2月に行われており（小林・原田, 1966）、放流時期としては著しいミスマッチがあった可能性が高い。現在、当幌川で行われている孵化放流事業では3月下旬から4月上旬に稚魚が放流されており、放流時期は野生魚の降河期間内に含まれている。当幌川におけるカラフトマス野生魚の降河時期が幅を持つ要因の1つとして、カラフトマス親魚の遡上期間が2ヶ月程度の幅を持っているためと考えられる。著者らは当幌川水系においてカラフトマス親魚の遡上産卵が9月上旬から10月下旬にかけて行われることを確認しており（未発表）、これらの親魚に由来する稚魚が比較的幅広い期間にわたって浮上・降河していると考えられる。また、当幌川の支流サクラ川では天然産卵が確認されている（未発表）。サクラ川では、2006年12月1日から4月30日までの平均水温が3.71℃であった（最高7.5℃、最低1.6℃）。一方、当幌川本流の河川水を用いて飼育管理を行っている当幌川ふ化場では、平均水温が5.2℃（最高水温8.0℃、最低水温3.0℃）であった（未発表）。支流で産卵された場合、比較的低温での卵期の発育が5月上中旬の比較的遅

い時期の降河につながっていると考えられる。

北太平洋における降海直後のカラフトマス稚魚の体サイズは、平均で尾叉長28～35 mm、体重0.13～0.26 g（Heard, 1991）とされるが、本調査で採集されたカラフトマス稚魚はこれより大きく、平均0.196～0.288 gであった。特に、3月下旬～4月上旬の早い時期に降河する個体に比較的大型の個体が見られた。西別川におけるカラフトマス降河調査では、降河時期が遅いほど魚の体長が小型であることが指摘されている（小林・原田, 1966）。本研究でも野生魚の採集旬別の体長には時期によって有意差が認められた。遅い時期ほど小型の個体が含まれている傾向があり、特に2008年はそれが顕著であった。一方、岩尾別川（小林, 1968）および仁雁別川における調査（佐々木ら, 1993）では、降河時期による体サイズの小型化は認められていない。また、当幌川で2007年と2008年の同旬に採集された野生魚の体重を比較したところ、4月上旬と中旬に採集された野生魚の体重平均値に有意差が認められた。これは、カラフトマス降河稚魚の体サイズに年変動がある可能性を示唆している。しかも、降河盛期に近い4月上旬と中旬に採集された稚魚で有意差が認められた。このような野生魚の体サイズの年級差が生じた原因については不明だが、カラフトマスでは年級群間に生殖的隔離がある（Heard, 1991）ことから年級群間の形質的な差異の可能性もある。カラフトマスの年級による資源量変動を解明する観点からも、年級群による

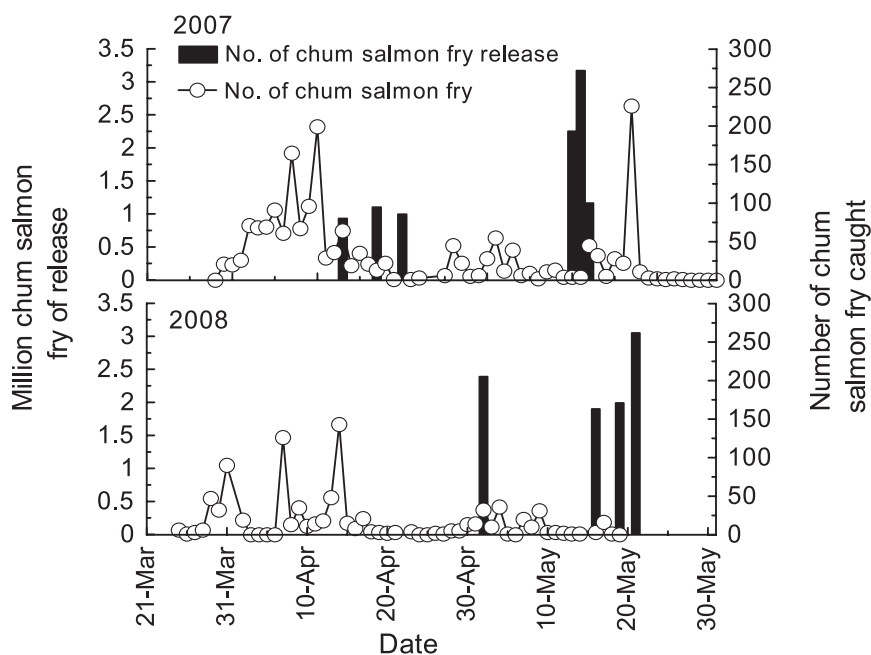


Fig. 6 Numbers of release chum salmon fry (*Oncorhynchus keta*) and caught at the downstream sampling site in Tohoro River.

降海時の体サイズの差が沿岸域での生き残りに及ぼす影響についても注目する必要がある。また、当幌川での遡上親魚の調査では、遅い時期に遡上する親魚ほど小型の傾向があり（未発表）、親魚の大きさと浮上稚魚のサイズについても今後検証する必要がある。

耳石 ALC 標識魚の再捕状況から、放流されたカラフトマスが下流域に達するのに要する時間が明らかとなった。すなわち、河口から上流 45 km にある当幌川ふ化場から放流されたカラフトマス稚魚の主群が、河口付近にある当幌川捕獲場に到達するのに要する時間は、3～6日程度であった。2007年には、小リング群が3月26日と3月30日に放流され、4月3日には採集のピークを迎えたことから、少なくとも放流から3～6日以内には主群が下流域へと到達していたと考えられる。また、大リング群は3月30日と4月2日に放流され、4月3日には採集ピークを迎えたことから、放流から2～3日以内で主群が下流域に到達したと考えられる。2008年も4月2日に当幌川ふ化場から放流された小リング群は、主群は4月6日から9日にかけて捕獲場を通過したと考えられ、当幌川ふ化場から放流されたカラフトマス稚魚の主群が当幌川捕獲場に到達するまでの時間は、4～6日であった。4月18日に放流した二重リング群の採集尾数は著しく少なく、4月21日から26日にかけて10尾が採集されたのみであったが、降河に要する日数は4月2日放流群とほぼ同様に3～5日であった。本研究で2シーズンにわたって行った異なる飼育放流方法によるこれらの結果から、人工孵化放流されたカラフトマス稚魚においては、無給餌と給餌による差あるいは放流時期の差が下流域への降河行動に違いを及ぼす影響は小さいと考えられ、いずれも主群は3日程度、少なくとも7日以内に90%以上が下流域まで降河すると考えられる。また、カラフトマスの降河移動に関して、水温と降河に要する日数の間には明瞭な関係は見いだされなかった。過去の知見でも、西別川では降河移動に水温の影響は少ないとする報告がある（小林・原田, 1966）。一方で、佐々木ら（1993）は、仁雁別川においては水温上昇時期にカラフトマス稚魚の降河量が多い可能性を指摘しており、河川の流程や形状、水量などによってカラフトマスの降河生態が影響を受ける可能性もある。

カラフトマス稚魚とサケ稚魚の降河生態を比較するために、同時に採集されたサケの降河日数を検討する。本調査ではサケに標識を施していないため、サケの放流日と採集結果の関係（Fig. 6）から降河日数を推定す

ると、当幌川におけるサケ放流稚魚が下流域までの降河に要する日数は放流時期により若干異なり、7～10日ないし4～5日であると推測される。2006年級群のサケ降河稚魚は2007年4月2日～5月27日にかけて断続的に採集され、合計1,847尾が採集された。計根別ふ化場からの放流前の4月前半にサケ稚魚が多数採集されたが、これは体サイズが小さいことから天然産卵由来の稚魚と思われる。4月17・21・24日放流群の多くは5月1～7日に採集されたと考えられ、ふ化場から当幌川捕獲場まで7～10日程度で降河したと推測される。また5月14・15・16日放流群は、主群が5月21日に採集されたと考えられることから、4～5日程度で降河したと推測される。したがって、放流時期が早いものは比較的時間をかけて降河し（7～10日）、遅いものは比較的速やかに降河する（4～5日）傾向が見られるが、いずれもカラフトマス稚魚よりは長く河川に滞在すると考えられる。浮上後に降河を始めたカラフトマス稚魚は正の走流性を示し（McDonald, 1960）、比較的流心近くに分布し降河するが、サケ稚魚では必ずしもそうではない（McDonald, 1960）。カラフトマス稚魚とサケ稚魚の降河生態の違いを反映しているのかも知れない。本調査の問題点として、スクリュートラップを設置した当幌川捕獲場が河口付近にあり、潮汐の影響を受けることから、満潮に近い時間帯ではスクリュートラップが稼働しない状況が観察された。2008年の4月2日と4月18日にほぼ同数のカラフトマス種苗が放流されているにもかかわらず4月18日に放流した個体の再捕尾数が10個体と著しく少なかった。このことから4月下旬以降潮汐の影響を受け十分に採集されていない可能性も否定はできない。しかし、スクリュートラップによる稚魚採集の定量性について改善の余地があるものの、本調査ではサケマス捕獲河川においても野生魚の再生産が確認された。本調査ではサケマス捕獲河川においても野生魚の再生産が確認された。近年、サケマス資源における野生魚管理は重要な課題となりつつあり、カラフトマスにおいても野生魚管理を視野に入れた基礎的研究が求められる。

## 要 約

1. 2007年と2008年に当幌川に放流されたカラフトマス種苗全数に耳石 ALC 標識を施して、下流域でスクリュートラップによって採集した。
2. スクリュートラップで採集されたカラフトマスの



うち、2007年には9.1%、2008年には48.8%の野生魚が含まれており、サケマス親魚の捕獲河川においても野生魚の再生産が行われていることが確認された。

3. 当幌川におけるカラフトマス野生魚の降河時期は、3月下旬から5月中旬で、盛期は4月上旬であると考えられた。
4. カラフトマス放流魚の降河速度は、サケに比べて早く、河口から約45 km上流の当幌川ふ化場から放流されたカラフトマス稚魚の主群が河口から2.5 km上流にある当幌川捕獲場に到達するまでの時間は、3～6日程度であった。また、降河速度は放流時期や給餌飼育の有無、また河川水温によって影響されにくいと考えられた。

## 謝 辞

本研究の実施に際し、カラフトマス標識魚の飼育管理は、(株)根室管内さけ・ます増殖事業協会に行っていた。また、スクリュートラップの設置、維持管理および調査の実施に関して、(株)根室管内さけ・ます増殖事業協会および野付漁業協同組合サケ定置部会の方々には、多大なご協力をいただいた。ここに記してお礼申し上げる。

## 文 献

Heard, W. R. (1991). Life history of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). In Pacific salmon life histories. (C. Groot and L. Margolis, ed.), pp. 119-230. The University of British Columbia Press, Vancouver.

Hoar, W. S., Keenleyside, M. H. A., Goodall, R. G. (1957). Reaction of juvenile Pacific salmon to light. *Journal Fisheries Research Board of Canada*, **14**, 815-830.

北海道土木協会(1995). 北海道河川一覧(河川番号編), 306pp. 社団法人北海道土木協会, 札幌.

小林哲夫(1968). カラフトマス稚魚の降海期について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, **22**, 1-5.

小林哲夫・原田滋(1966). 西別川におけるサケ・マスの生態調査 II. カラフトマス稚魚の降海移動, 成長, 食性. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, **20**, 1-10.

Macdonald, J. (1960). The behavior of Pacific salmon fry during their downstream migration to fresh water and saltwater nursery areas. *Journal Fisheries Research Board of Canada*, **17**, 655-676.

Morita, K., Morita, S. H. and Fukuwaka, M. (2006). Population dynamics of Japanese pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*): are recent increases explained by hatchery programs or climatic variations? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **63**, 55-62.

Neave, F. (1955). Notes on the seaward migration of pink salmon fry. *Journal Fisheries Research Board of Canada*, **12**, 369-374.

岡本康孝(2009). 北太平洋と日本におけるさけます類の資源と増殖. 水産総合研究センター研究開発情報: SALMON 情報, **3**, 24-25.

佐々木義隆・山下幸悦・中島幹二(1993). 仁雁別川におけるカラフトマス稚魚の降海行動. 北海道立水産孵化場研究報告, **47**, 15-20.

## サケの発眼率とスパマトクリット, pH および 精子運動時間との関係

宮本 幸太<sup>1\*</sup>・高橋 史久<sup>2</sup>・佐田 巖<sup>3</sup>・羅津 三則<sup>4</sup>・小松 信治<sup>5</sup>・  
桑木 基靖<sup>6</sup>・徳田 裕志<sup>7</sup>・吉田 昇<sup>8</sup>・伴 真俊<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人水産総合研究センターさけますセンター千歳事業所

<sup>2</sup> 独立行政法人水産総合研究センターさけますセンター

<sup>3</sup> 独立行政法人水産総合研究センターさけますセンター渡島事業所

<sup>4</sup> 独立行政法人水産総合研究センターさけますセンター八雲事業所

<sup>5</sup> 独立行政法人水産総合研究センターさけますセンター帯広事業所

<sup>6</sup> 独立行政法人水産総合研究センターさけますセンター十勝事業所

<sup>7</sup> 独立行政法人水産総合研究センターさけますセンター北見事業所

<sup>8</sup> 独立行政法人水産総合研究センターさけますセンター斜里事業所

### Relationship between spermatocrit, pH, sperm motility and eyed egg ratio in chum salmon (*Oncorhynchus keta*)

KOUTA MIYAMOTO\*<sup>1</sup>, FUMIHISA TAKAHASHI<sup>2</sup>, IWAO SADA<sup>3</sup>, MITSUNORI RATSU<sup>4</sup>,  
SHINJI KOMATSU<sup>5</sup>, MOTOYASU KUWAKI<sup>6</sup>, HIROSHI TOKUDA<sup>7</sup>, NOBORU YOSHIDA<sup>8</sup>  
AND MASATOSHI BAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Chitose Field Station, National Salmon Resources Center, Fisheries Research Agency, Rankoshi 9-ban, Chitose, Hokkaido 006-0068, <sup>2</sup>National Salmon Resources Center, Fisheries Research Agency, Nakanoshima 2-jo 2-chome, Toyohira-ku, Sapporo, Hokkaido 062-0922, <sup>3</sup>Oshima Field Station, National Salmon Resources Center, Fisheries Research Agency, Sakaemachi 94-2, Yakumo, Hokkaido 049-3117, <sup>4</sup>Yakumo Field Station, National Salmon Resources Center, Fisheries Research Agency, Kamiyakumo-59ban, Yakumo, Hokkaido 049-3121, <sup>5</sup>Obihiro Field Station, National Salmon Resources Center, Fisheries Research Agency, Taisyo 441-55, Obihiro, Hokkaido 089-1242, <sup>6</sup>Tokachi Field Station, National Salmon Resources Center, Fisheries Research Agency, Aza-seo 428-3, Sarabetsu, Hokkaido 089-1552, <sup>7</sup>Kitami Field Station, National Salmon Resources Center, Fisheries Research Agency, Aoba 6-8, Kitami, Hokkaido 090-0018, <sup>8</sup>Shari Field Station, National Salmon Resources Center, Fisheries Research Agency, Aza-kounan 807-17, Kiyosato, Hokkaido 099-4404 Japan

**Abstract** We investigated the relationships between eyed egg ratio, sperm motility, seminal fluid pH, spermatocrit and ovarian fluid pH in chum salmon (*Oncorhynchus keta*) by path analysis, to determine an index for improvement of the fertilization rate. There are positive correlations among the semen parameters, but only sperm motility explained the high percentage of variance in the eyed egg ratio. Our results suggest that fertilization rates were elevated by extension of sperm motility, and this phenomenon

\* E-mail: mkouta@fra.affrc.go.jp. Tel: 0123-23-2804. Fax: 0123-23-2449.

occurred when the seminal fluid pH and spatocrit alike were elevated. Also we propose that sperm motility is the most useful way to forecast the eyed egg ratio.

**Key words** : シロザケ, 精子活性, pH, スパマトクリット, 発眼率

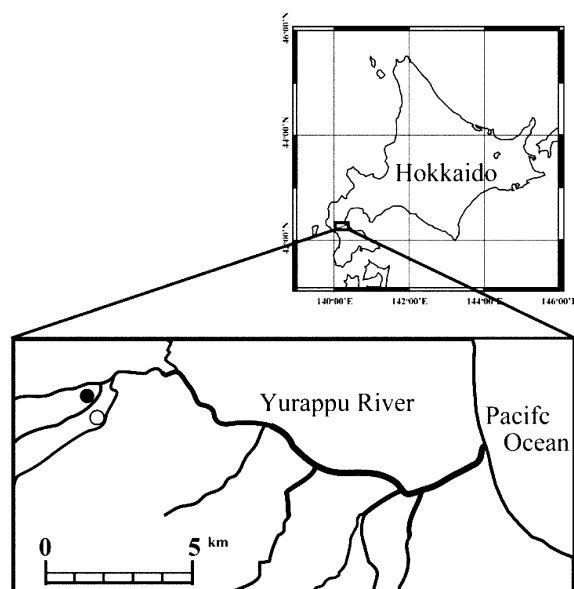
サケ人工増殖事業において、不受精などにより発生する死卵は、水生菌の発生源となり、生卵の斃死を招くことから、人工種苗生産の成績向上と安定化をはかる上で授精作業は特に注意すべき作業工程と考えられる。現在、増殖事業において、人工授精を行う際に注意する点としては、精液の色、卵の感触、潰卵や血液、胆汁などの混入の有無がある（水産庁北海道さけ・ますふ化場, 1985）。このような感触や視覚による判別方法は、瞬時に判断出来るという利点はあるものの、数値化された基準がないこと、個人の経験に大きく左右されること、第三者への確に伝達することが困難であるなどの欠点もある。また、サケ人工増殖事業において、採卵から放流までに生じる減耗の約 60% は発眼卵期以前に生じていることから（宮本ら, 2009）、感覚のみに依存した現状の判別方法は十分とは言えず、発眼率向上のためには新たな指標の開発が必要と考えられる。これまでにニジマス (Lahnsteiner *et al.*, 1998 ; Geffen and Evans, 2000 ; Ciereszko and Dabrowski, 1994), ベニサケ (Hoysak and Liley, 2001) および大西洋サケ (Aas *et al.*, 1991 ; Hwang and Idler, 1969 ; Gage *et al.*, 2004) のサケ科魚類において、精子の活性、密度、ATP、精液の pH および精漿の浸透圧といった指標を用いて、発眼率に与える影響を評価する試験が行われてきた。一方、雌の体腔液についても精子の活性を高める作用を持つことが知られており (野村, 1964 ; Ginsburg, 1968), 近年では体腔液の pH が精子の活性を左右することが明らかとなっている (Wojtezak *et al.*, 2007)。このような報告から、雌の体腔液が受精に影響を与えることも十分に予想される。そこで、本調査では比較的簡易な装置で測定が可能であり、短時間で判別をつけることが出来る精液の pH, スパマトクリット, 体腔液の pH および精子活性の一つである精子運動時間を指標として、発眼率との関係を検討した。

## 材料および方法

### 調査場所と標本採集

本試験は 2007 年 11 月 17 日に水産総合研究センター

さけますセンター八雲事業所（以下、八雲事業所とする）で行った。供試魚には、八雲事業所構内で捕獲した雌雄各 10 尾のサケ親魚と、社団法人渡島さけ・ます増殖事業協会遊楽部ふ化場（以下、遊楽部ふ化場とする）(Fig. 1) から輸送した雌雄各 10 尾のサケ親魚の計 40 個体を用いた。



**Fig. 1** Map showing the National Salmon Resources Center Yakumo field (●) and Yurappu salmon hatcheries (○) in Yurappu River.

採卵・採精を行う際には、精液や体腔液に血液や尿などの体液の混入が無いことを確認してから、OAKTON社製 pH Spear により精液と体腔液の pH を測定した。なお、調査時の室温は終始 8.2 ~ 9.3 °C であった。精液の pH の測定は、圧搾した精液を冷やしたシャーレの中に入れ、直ちに行った。体腔液の pH は、割腹の際に卵ごと体腔液をカップに採集し、直ちに測定を行った。精子の運動能力を判定するための精子運動時間は、精液 1  $\mu$ l をスライドグラス上に採り、その上から水 300  $\mu$ l を滴下して良く攪拌した後素早くカバーグラスを載せ、顕微鏡 (OLYMPUS 社製 CX41 N-11) 視野下の全数の精子が首振り活動を停止するまでの時間とした。なお、精液の希釈から測定までに要した時間は

5秒以内であった。精子運動時間の測定は1個体につき3回行い、その平均値を使用した。精子の密度を把握するため、精液をヘマトクリット毛細管(CAPILLARY社製EMマイスターヘマトクリット毛細管)へ入れ、遠心分離器(KUBOTA社製インバータ・ヘマトクリット遠心機3220)にて12000/sec回転で5分間の遠心分離を行った後、分離した精漿と精子の割合を計測することで精液中の精子占有率であるスパマトクリットを計算した。なお、スパマトクリットの測定については、1個体につき2回行い、その平均値を使用した。

授精実験は、雌雄1個体毎に卵200粒と精液約20mlを採取して、1対1の乾導法により授精を行った。精液と卵は媒精時に良く攪拌した後、ただちに増収型アトキンス式ふ化槽に入れて60分間吸水させた。その後、別の増収型アトキンス式ふ化槽に卵を入れ替え、同年12月14日の積算温度246℃時点まで、孵化槽内の供試卵から白濁した死卵を取り除いて発眼卵を計数し、発眼率を次式により求めた。

$$\text{発眼率 (\%)} = (\text{発眼卵数} / \text{供試卵数}) \times 100$$

### 統計解析

本試験では、雄1個体の精液につきpH、スパマトクリットおよび精子運動時間の3つの分析項目を指標として採用した。これらの指標は相互に関係し合うことが想定されるため、指標間の関係性と影響を同時に明らかにすることができる共分散構造分析(Li, 1986)の一手法であるパス解析を用いて指標と発眼率との関係を明らかにした。雄の指標である精液のpH、精子運動時間およびスパマトクリットと、雌の指標である体腔液のpHは発眼率に影響をおよぼすと仮定し、発眼率へ単方向のパスを設定した。また、精液の指標はそれぞれが関与し合うと仮定し、双方向のパスを設定した。モデルの評価は、モデル全体の評価とモデルの部分評

価の2段階をふまえて行った(小塩, 2004)。モデル全体の評価では、まず $\chi^2$ 検定でモデル全体が正しいかどうかを検定した。モデルがデータと完全に適合している場合は乖離度( $\chi^2$ )が0となり、有意水準を5%として、有意確率が0.05以上であればそのモデルは指標と一致していると判断した。モデル適合度の指標として、CFI(比較適合度指標)、RMSEA(平均二乗誤差平方根)を用い、CFIが0.9以上、RMSEAが0.05未満をモデル適合の基準とした。予測変数が内生変数の分散を説明する割合を示すため、予測精度の尺度として $R^2$ を用いた。モデルの部分評価とふ化場間における指標の統計的有意性の有無を確認するため、 $\chi^2$ -testとStudent's t-testを用い、 $p < 0.05$ を有意と判断した。なお、データの正規分布が仮定されない場合は、Mann-Whitney's U testを用いて $U < \text{下側有意点}$ を有意と判断した。

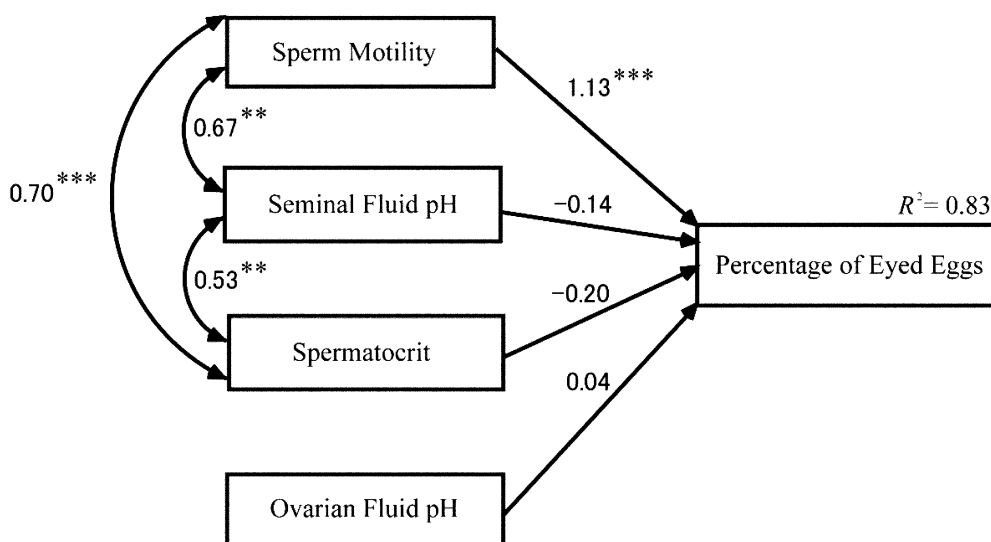
## 結 果

授精実験に使用した両ふ化場の雄親魚20個体における精液のpHは6.9~8.2、スパマトクリットは22±7.9(平均値±標準偏差)%, 精子運動時間は76.8±25.9秒、雌親魚20個体における体腔液のpHは7.7~8.2であった。授精させた20組の卵の発眼率は88.2±18.0%であった(Table 1)。なお、八雲事業所と遊楽部孵化場との間で、卵の発眼率( $U = 39$ , 下側有意点23)、精液のpH( $p = 0.7$ )、スパマトクリット( $U = 37$ , 下側有意点23)、精子運動時間( $p = 0.1$ )および体腔液のpH( $p = 0.3$ )に有意差は認められなかった。

パス解析の結果、モデル全体はデータと一致しており( $p > 0.05$ )、CFIは0.997、RMSEAは0.034と容認できる値を示した。モデルの部分評価の結果、精液のpHと精子運動時間( $p < 0.01$ )、精液のpHとスパマトクリット( $p < 0.01$ )および精子運動時間とスパマトク

**Table 1** Mean (X), standard deviation (s.d.), minimum (min) and maximum (max) values of traits

Traits	N	X	s.d.	min	max
Eyed Egg (%)	20	88.2	18.0	36.0	99.6
Semen					
Sperm Motility Time (sec)	20	76.8	25.9	0.0	106.8
Seminal Fluid pH	20	7.5	0.4	6.9	8.2
Spermatocrit (%)	20	22.0	7.9	9.5	39.5
Egg					
Ovarian Fluid pH	20	8.0	0.1	7.7	8.2



**Fig. 2** Path diagrams illustrating the relationships among sperm motility, seminal fluid pH, spermatocrit, ovarian fluid pH and percentage of eyed eggs. Numerals indicate a standard partial regression coefficient or correlation coefficient and asterisks indicate statistical significance ( $\chi^2$ -test, \*\*\* $P < 0.001$ , \*\* $P < 0.01$ , \* $P < 0.05$ ). Comparative fit index (CFI) = 0.997. Root mean square error of approximation (RMSEA) = 0.034.

リット ( $p < 0.001$ ) との間には有意な正の相関関係が認められ、発眼率との関係については、精子運動時間のみが有意な関係 ( $p < 0.001$ ) にあり、予測変数の精度を示す  $R^2$  は 0.83 であった (Fig. 2)。

## 考 察

パス解析の結果、精子運動時間のみが発眼率の変動を 80% 程度説明出来ることが明らかとなった。この結果より、精子運動時間は発眼率に最も影響を与える要因であると考えられた。一方、スパマトクリットや精液の pH については発眼率への影響は認められないものの、それぞれの指標間に正の相関関係が認められた。精巣内で形成された精子は、精巣を出て輸精管へと移動する際に、 $17\alpha, 20\beta$  dihydroxy-4-pregnen-3-one の作用により精液内の重炭酸塩が上昇し (Miura *et al.*, 1992)、精漿中の pH が上昇すると言われている (Morisawa and Morisawa, 1988)。Ingermann *et al.* (2002) は、ニジマスやマスノスケから採取した精液をあらゆる pH の人工精漿に 2 時間浸し、活動する精子の割合を測定したところ、7.25 ~ 8.2 の範囲内では、pH の上昇に従い活動する精子の割合が高くなることを明らかにしている。また、人工緩衝液 (Baynes *et al.*, 1981; Billard and Cosson, 1988) や体腔液 (Wojtezak *et al.*, 2007) でも、pH が 7.0 ~ 8.2 内の範囲であれ

ば pH の上昇に従って精子の活動時間や活動率、および鞭毛の活動が向上することを報告している。このように精子については、精巣内から放精された状態に至るまで、周辺の環境の pH が高いほど活性が向上することがわかる。本研究結果もほとんどの精液の pH が 7.0 ~ 8.2 の範囲内にあり、精液の pH と精子運動時間の間には正の相関関係が認められていることから、上記の報告と一致する結果となった。その他にも、スパマトクリットと精液の pH は正の相関関係にあり、精子密度の増加に対応するように精液の pH も共に上昇した結果と考えられる。これらのことから、精液の pH とスパマトクリットが共に高い状態であれば、授精の際に活発な精子が多く存在するため、高い発眼率が得られると考えられる。

これまでの研究には、精子運動時間が発眼率に反映しないこと (Hoysak and Liley, 2001; Aas *et al.*, 1991) や、精子密度の増加が精子の活動率を下げる (Kurokura and Oo, 2008) といった報告がある。これらの報告の背景には、精子の活性化への基盤となる高い精子密度とアルカリ性の環境という条件が成立していなかったと考えられる。受精率が変動する原因を明らかにするためには、本調査のように複数の指標を分析して指標間の因果関係を総合的に評価することが必要であろう。また、精液の pH、スパマトクリット、精子運動時間は、体腔液の pH に比べて個体差が大きかつ

た。Munkittrick and Moccia. (1987) はニジマスを使用した試験結果から、繁殖期の経過に伴い、精子の活動率とスパマトクリットが低下することを報告している。今回、調査に供したサケ親魚は、遡上時期、捕獲場所および蓄養期間が異なるため河川内での成熟期間に差が生じていた可能性は捨てきれず、このため精液の指標にばらつきが生じたものと推察される。いずれにせよ、これらの原因については今後さらに追及していく必要があると考えられる。

一方、体腔液の pH は個体間変動が小さく、8.0 付近で安定していた。体腔液の pH については、7.5 ~ 8.0 までの間では pH の上昇に従い精子の活性が向上することが報告されている (Perchee *et al.*, 1993)。パス解析の結果、体腔液の pH は発眼率に影響を与えていなかったが、今回の実験に用いた全ての雌の体腔液は pH が 8.0 付近で安定していたことから、媒精後の精子にとっていずれも好適な環境だったと推察される。これより、調査環境下では雌の指標が発眼率へ及ぼす影響は無かったと考えられる。

今回の結果から、精液の判別を行い精子運動時間の高い精液を使えば、発眼率向上を図ることが可能と考えられる。しかし、サケ人工増殖事業の場合、1 日に人工授精に供する雄親魚は、多い場合で 1000 個体以上と膨大なため、親魚 1 個体毎に指標の値を評価していくことは現実的ではない。そこで、サケ人工増殖事業では、授精に供する親魚の群から複数個体を抽出し、それらの指標の測定結果から、授精への使用の可否を判断する方法が最も有効と考えられる。今後は、精子運動時間の測定が、考察された方法で事業規模にてどの程度有効であるのかを明らかにすることが必要となる。

## 要 約

1. サケの発眼率と精液の pH, スパマトクリット, 精子運動時間および体腔液の pH との関係パス解析により評価した。
2. 精子運動時間のみに発眼率との間で有意な関係が認められ、精子の運動時間が長いと受精率が高くなることが明らかとなった。
3. スパマトクリットや精液の pH については発眼率への影響は認められないものの、それぞれの指標間に正の相関関係が認められた。
4. 精液の pH とスパマトクリットが共に高い状態であ

れば、授精の際に活発な精子が多く存在するため、高い発眼率が得られると考えられた。

## 謝 辞

本研究を実施するに際して、社団法人渡島さけ・ます増殖事業協会遊楽部孵化場の皆様には供試魚を提供していただいた。さけますセンター千歳事業所の清水勝所長、本間広巳チーフ技術専門員および伊藤洋満技術専門員を含む職員の皆様には有益な助言をいただいた。記して厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- Aas, G. H., Refstie, T. and Gjerde, B. (1991). Evaluation of milt quality of Atlantic salmon. *Aquaculture*, **95**, 125-132.
- Baynes, S. M., Scott, A. P. and Dawson, A. P. (1981). Rainbow trout, *Salmo gairdnerii* Richardson, spermatozoa: effects of cations and pH on motility. *Journal of Fish Biology*, **19**, 259-267.
- Billard, R. and Cosson, M. P. (1988). Sperm motility in rainbow trout, *Parasalmo gairdneri*; Effects of pH and temperature. In: Breton B, Zohar Y, editors. Reproduction in fish Basic and Applied Aspects in Endocrinology and Genetics. INRA, Paris, 161-167.
- Ciereszko, A. and Dabrowski, K. (1994). Relationship between biochemical constituents of fish semen and fertility: the effect of short-term storage. *Fish Physiology and Biochemistry*, **12**, 357-367.
- Gage, M. J. G., Macfarlane, C. P., Yeates, S., Ward, R. G., Searle, J. B. and Parker, G. A. (2004). Spermatozoal traits and sperm competition in atlantic salmon: relative sperm velocity is the primary determinant of fertilization success. *Current Biology*, **14**, 44-47.
- Geffen, A. J. and Evans, J. P. (2000). Sperm traits and fertilization success of male and sex-reversed female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, **182**, 61-72.
- Ginsburg, A. S. (1968). Fertilization in fishes and the problem of polyspermy. pp. 365., Izdatel' stvo Nauka (Translated from Russian)
- Hoysak, D. J. and Liley, N. R. (2001). Fertilization dynamics in sockeye salmon and a comparison of

- sperm from alternative male phenotypes. *Journal of Fish Biology*, **58**, 1286-1300.
- Hwang, P. C. and Idler, D. R. (1969). A major study on cations, osmotic pressure and pH in seminal components of Atlantic salmon. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, **26**, 413-419.
- Ingermann, R. L., Bencic, D. C. and Gloud, J. G. (2002). Low seminal plasma buffering capacity corresponds to high pH sensitivity of sperm motility in salmonids. *Fish Physiology and Biochemistry*, **24**, 299-307.
- 小塩真司 (2004). SPSS と Amos による心理・調査データ解析 ～因子分析・共分散構造分析まで～. 東京図書, 東京, 180-181.
- Kurokura, H. and Oo, M. K. (2008). Evaluation of fertilizing capacity of cryopreserved rainbow trout sperm. *Fisheries Science*, **74**, 621-626.
- Lahnsteiner, F., Berger, B., Weismann, T., and Patzner, R. A. (1998). Determination of semen quality of the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, by sperm motility, seminal plasma parameters, and spermatozoa metabolism. *Aquaculture*, **163**, 163-181.
- Li, C. C. (1986) Path analysis — a primer. 4 th ed. The Boxwood press, Pacific Grove, Calif.
- Miura, T., Yamauchi, K., Takahashi, H. and Nagahama, Y. (1992) The role of hormones in the acquisition of sperm motility in salmonid fish. *Journal of Experimental Zoology*, **261**, 359-363.
- 宮本幸太・平澤勝秋・宮内康行・戸叶 恒 (2009). サケ人工増殖における親魚捕獲, 蓄養および受精作業の現状と問題点. *水産技術*, **1**(2), 29-38.
- Morisawa, S. and Morisawa, M. (1988). Induction of potential for sperm motility by bicarbonate and pH in rainbow trout and chum salmon. *Journal of Experimental Zoology*, **136**, 13-22.
- Munkittrick, K. R. and Moccia, R. D. (1987). Seasonal changes in the quality of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) semen: effect of a delay in stripping on spermatocrit, motility, volume and seminal plasma constituents. *Aquaculture*, **64**, 147-156.
- 野村 稔 (1964). ニジマスの人工採卵に関する基礎研究—VI. 淡水・等調液・体腔液・尿の希釈による精子の活動性と精液の貯蔵について. *日本水産学会誌*, **30**, 723-733.
- Perchee, G., Cosson, J., Andre, F. and Billard, R. (1993). Sperm motility of trout (*Oncorhynchus mykiss*) and carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Applied Ichthyology*, **9**, 129-149.
- 水産庁北海道さけ・ますふ化場 (1985). さけ・ます人工孵化事業実施要領. 辻孔版社, pp.14.
- Wojtezak, M., Dietrich, J. G., Słowińska, M., Dobosz, S., Kuźmiński, H. and Ciereszko, A. (2007) Ovarian fluid pH enhances motility parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) spermatozoa. *Aquaculture*, **270**, 259-264.

短 報  
網走湖産ワカサギ降海移動期の発育段階と栄養状態

虎尾 充

北海道立水産孵化場

**Conditions of developmental phase and fish nutrition relevant to seaward migration of Wakasagi, *Hypomesus nipponensis*, in Lake Abashiri, Hokkaido, Japan**

MITSURU TORAO

*Hokkaido Fish Hatchery, Kitakashiwagi 3-373, Eniwa, Hokkaido 061-1433, Japan*

**Abstract** The Japanese smelt, Wakasagi (*Hypomesus nipponensis*), in Lake Abashiri has two different strategies for life history, lake resident and anadromous. The body size, developmental phase, and nutritional condition of the two groups of Wakasagi were compared to determine whether nutrition plays a role in the divergence of life history strategies in Lake Abashiri. Fish were collected in the lake and the outflowing river between July and August in 1999. The residents were collected in Lake Abashiri using a towing net. The migrants were collected in Abashiri River about 2 km below the outlet of the lake using a trap net. The fish were placed on ice immediately after capture, and stored in a freezer at -80 °C until assay. Fish were measured in the standard length and distinguished into different developmental phases on the basis of morphological criteria. There was no difference in body size between the two groups. While all of the migrants reached juvenile stage (phase G or H), residents included not only the juvenile but also the larval stage (phase F). The triglyceride/phospholipid ratio, an index of nutritional condition, decreased following the beginning of the outmigration, regardless of life-history type. These results suggest that the seaward migration of Wakasagi in Lake Abashiri may be associated with a decrease in nutritional condition during the juvenile stage.

**Key words** : ワカサギ, 遡河回遊型, 生活史多型, 栄養状態, 発育段階

網走湖におけるワカサギ *Hypomesus nipponensis* には、湖内残留型と遡河回遊型が同所的に存在することが知られている (宇藤・坂崎, 1983)。4～5月にかけて流入河川で孵化したワカサギ仔魚は、ただちに網走湖に降下し湖内で成長する。その後、6～9月にかけて一部の個体が流出河川である網走川を通じて降海する (宇藤・坂崎, 1983)。降海時期には、湖内には体長や発育段階が異なる同一年級の個体が分布しているが (鳥澤, 1999; 浅見, 2004)、個体の体サイズや発育段階の降海移動への関わりは、検証されていない。また、降海個体の出現要因について、降海時期直前の網走湖内にお

けるワカサギ仔魚の分布指数が高いほど降海個体数が多いことが明らかとなっており、ワカサギ降海個体の出現と湖の環境収容力との関連が指摘されている (鳥澤, 1999)。このことは、網走湖におけるワカサギの生活史分岐が生じる時期に、網走湖内の餌環境の低下あるいはワカサギの摂餌要求の増大などによってワカサギの栄養状態が低下し、降海個体出現の要因となっている可能性がある。しかし、これまでに網走湖のワカサギの栄養状態および栄養状態が回遊型の分岐に及ぼす影響については、明らかになっていない。栄養状態の指標として、多くの魚類仔魚でトリグリセラ



イド/リン脂質比（以下、TG/PL 比）の有効性が示されている（Hakanson, 1989; Zenitani, 1995）。TG/PL 比の時期的な変化および回遊型による差異を明らかにすることで、降海個体出現の背景にあるワカサギの栄養状態の変化を推定出来ると考えられる。本研究では、網走湖産ワカサギにおける降海個体の出現条件を検討するため、湖内残留個体と降海個体の体サイズと发育段階の比較、また、栄養状態の指標としてTG/PL 比の時期的な変化と回遊型による差を検討した。

網走湖は北海道東部に位置する汽水湖で、約7 km の流出河道を通じてオホーツク海とつながっている。試験に用いたワカサギは、網走湖内2地点と流出河川において採集した（Fig. 1）。網走湖内の上流域（St. 1）と湖の流出口に近い地点（St. 2）において、曳き網によって採集した個体を湖内残留個体とした。湖内残留個体の採集は、降海盛期以前の1999年7月12日、降

海盛期に近い8月2日、降海がほぼ終了した8月30日の計3回行った。一方、降海個体は、網走湖流出口の下流約2 km 地点にある網走川大曲地区において、降海期間中の7月19日、7月27日、8月3日の3回、ふくべ網によって採集した。それぞれ、30～60個体を無作為に抽出して標本とした。採取した標本は氷冷して実験室に持ち帰り、-80℃で分析まで保存した。分析時に標準体長を測定し、Torao（2000）を修正した发育段階区分（Table 1, Fig. 2）にしたがって发育段階を判別したのち、トリグリセライドとリン脂質の定量に用いた。トリグリセライドおよびリン脂質の測定は、消化管を除去した魚体を約5倍量のエタノール-エーテル（3:1 v/v）中で、ポリトロンホモジナイザーを用いて氷冷しながら十分にホモジナイズし、4℃、2,500 rpm（800 G）で20分間遠心分離したのち、上澄みを採取し市販の分析キット（トリグリセライドGテストワコ

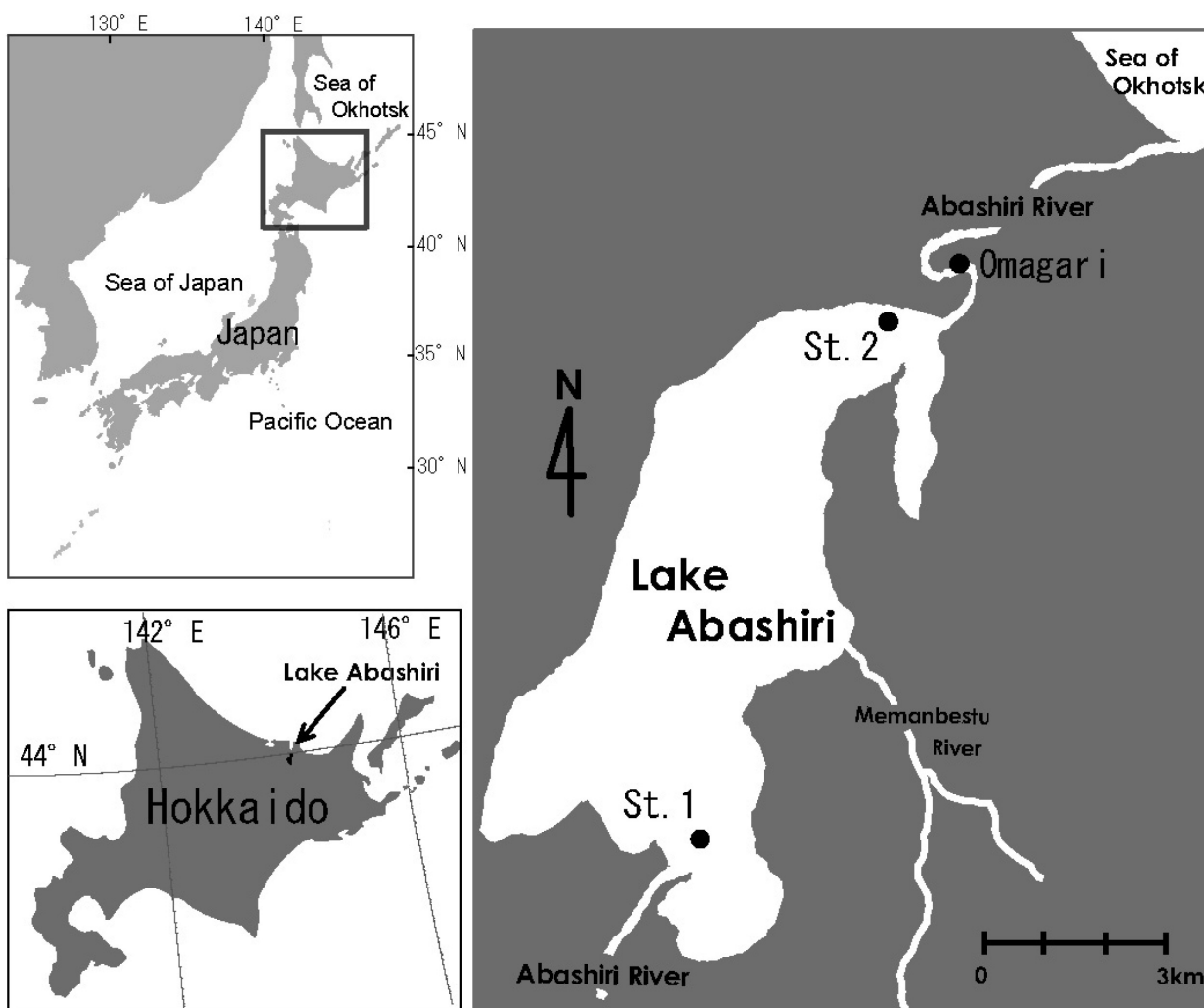


Fig. 1 Sampling locations in the Lake Abashiri system. Lake-resident *Hypomesus nipponensis* were collected in Lake Abashiri (St.1 and 2). Seaward migrants were collected at Omagari in Abashiri River.

**Table 1** Realignment of the developmental division of *Hypomesus nipponensis* by Torao (2000)

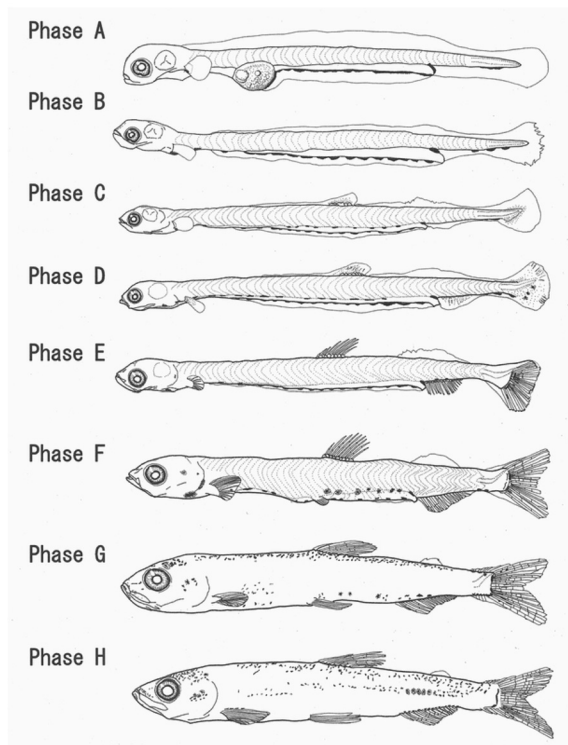
Period	Stage	Phase	Devide criterion
larval	yolk-sac	A	From the hatching to the completion of yolk absorption
		B	From the completion of yolk absorption to just before the appearance of the dorsal fin rudiment
		C	From the forming of dorsal fin rudiment to just before the beginning of notochord flexion
	flexion	D	From the notochord flexion begins to the beginning of caudal fin indentation
		E	From the beginning of caudal fin indentation to just before the attainment of complete fin ray counts
	postflexion	F	From attainment of fin ray full complement to transformation to early juvenile
juvenile	juvenile	G	Transformation into the juvenile form progresses. Characterized by the melanophores appear on the cephalic region, the posterior part of trunk, and the upper part of the caudal peduncle
		H	The transformation from larva to juvenile is complete. Characterized by the melanophores on the lateral line become conspicuous and are distributed on the anterior trunk in front of the dorsal fin base

一、リン脂質 C テストワコー、和光純薬工業社、大阪) を用いて定量した。

Fig. 3 に網走湖内と網走川で採集された個体の体長組成と発育段階組成を示した。降海盛期以前の7月12日の網走湖内で採集されたワカサギの標準体長は、St. 1 では  $30.85 \pm 3.43$  mm (平均±標準偏差)、St. 2 では  $30.22 \pm 3.28$  mm であった。降海盛期に近い8月2日の湖内残留個体の標準体長は、St. 1 では7月12日時点より大きくなり  $34.37 \pm 10.00$  mm であったが、St. 2 では標準体長の平均は小さくなり  $28.47 \pm 4.73$  mm であった。降海がほぼ終了した8月30日には、St. 1、St. 2 ともに標準体長の平均値は40 mm を超えていた。一方、降海個体の平均標準体長は、7月19日に  $28.54 \pm 3.71$  mm、7月29日に  $26.52 \pm 2.39$  mm、8月3日に  $35.45 \pm 4.36$  mm であった。このように、網走湖内のワカサギの体長組成は採集地点と時期によって大きく異なり、また、降海個体の体長組成とも一致しなかった。発育段階についてみると、7月12日の網走湖内 St. 1 のワカサギの発育段階組成は、仔魚期の Phase F が 13.3%、稚魚期の Phase G が 86.7% であった。湖口に近い St. 2 では、仔魚期の F が 6.7% と少なく、稚魚期 G が 90.0% と多く、さらに発達した H も 3.3% 含まれていた。8月2日には、St. 1 での発育段階組成は G が 67.2% を占めた。St. 2 では、G が 73.3% を占めたが、仔魚期の F も 20.0% 含まれていた。8月30日には、St. 1、St. 2 ともに全て稚魚期以降の Phase G、H の発育段階から構成されていた。一方、降海個体の発育段階組成は、降海開始期直後の7月19日には全てが稚魚期の個体で、G が 98.3%、H が 1.7% であった。また、7月27日には、発育段階は全て Phase G の個体であった。さらに、8月3日には発育が進行した個体が多くなり、

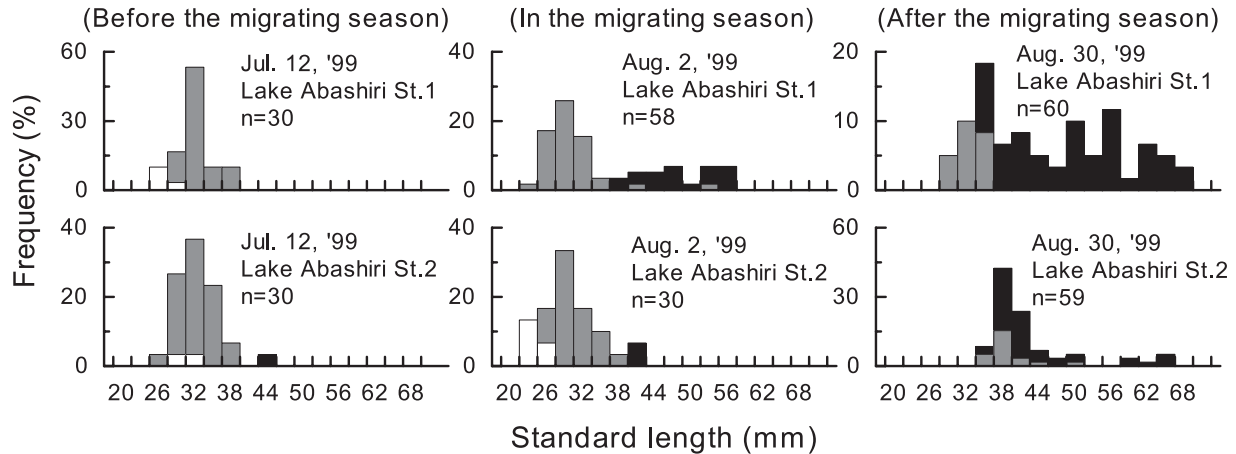
降海個体の発育段階は、G と H が 50.0% ずつとなった。採集日の近い、8月2日の湖内残留個体と8月3日の降海個体の発育段階を比較すると、残留個体では湖口に近い St. 2 においても稚魚期の個体 (G と H) に加えて、仔魚期の F 個体も出現したのに対し、降海個体では稚魚期の発育段階である G と H に限られていた。

網走湖内および網走川で採集した個体の TG/PL 比の時期変化と、北海道立網走水産試験場によるワカサギ降海調査の採集結果 (未発表資料) を Fig. 4 に示した。湖内残留個体の TG/PL 比は、7月12日に  $1.62 \pm$



**Fig. 2** Illustration of the developmental phases of *Hypomesus nipponensis*.

Lake-resident



Seaward migrant

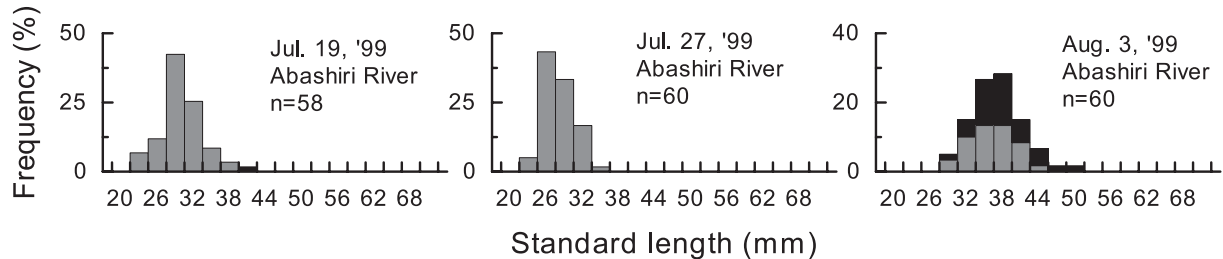
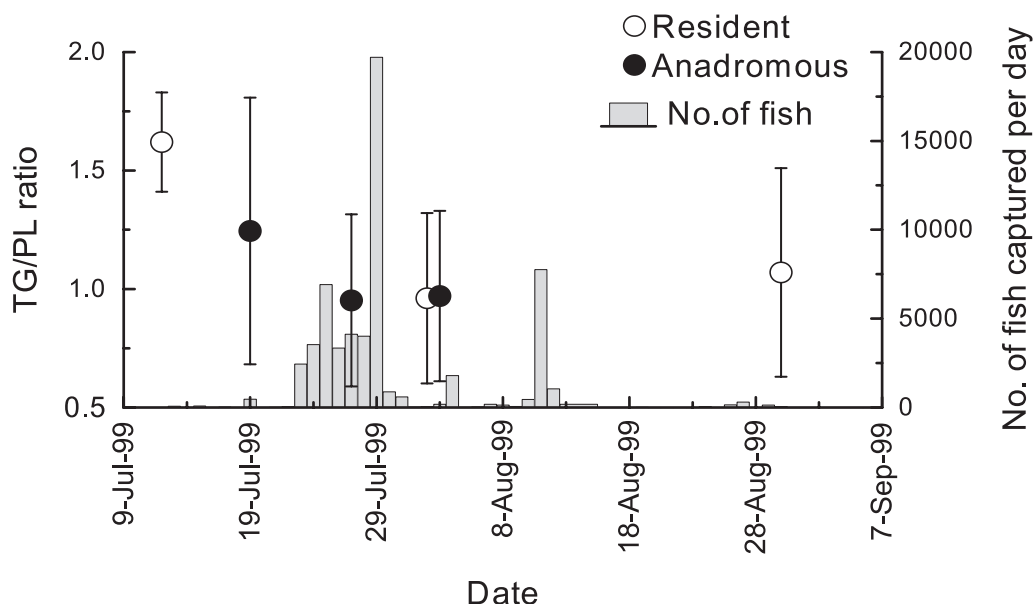


Fig. 3 Seasonal changes in the standard length distribution with developmental phases of *Hypomesus nipponensis* collected from Lake Abashiri and Abashiri River. Open bar: phase F, shade bar: phase G, solid bar: phase H.

0.21 (平均±標準偏差,  $n = 30$ ) だったが, 8月2日には  $0.96 \pm 0.36$  ( $n = 88$ ) へと低下した。降海がほぼ終了した8月30日には  $1.07 \pm 0.44$  ( $n = 119$ ) と, 7月12日のTG/PL比より低下していた。一方の網走川で採集された降海個体においても, 降海個体が出現し始めた7月19日のTG/PL比は  $1.25 \pm 0.56$  ( $n = 58$ ) だったが, 降海盛期にかけて低下し7月27日には  $0.95 \pm 0.36$  ( $n = 60$ ), 8月3日には  $0.97 \pm 0.36$  ( $n = 60$ ) であった。湖内残留個体と降海個体のTG/PL比を比較したところ, 降海盛期に近い8月2日に採集された湖内残留個体と8月3日の降海個体のTG/PL比の平均値には, 有意差は認められなかった(Mann-WhitneyのU検定,  $z = 1.462$ ,  $p > 0.05$ )。また, 湖内での栄養状態の時期的な低下を検討するため, 湖内残留個体の7月12日と8月2日のTG/PL比の平均値を比較したところ, 有意差が認められた(Mann-WhitneyのU検定,  $z = 2.873$ ,  $p < 0.01$ )。7月19日と7月27日の降海個体の平均TG/PL比にも, 有意差が認められた(Mann-WhitneyのU検定,  $z = 6.081$ ,  $p < 0.001$ )。このことから, 降海盛期において湖内残留個体と降海個体のTG/PL比には有意差は認められず, また湖内残留個体

・降海個体ともに, 7月から8月上旬にかけてTG/PL比が有意に低下していた。

1999年に採集された網走湖におけるワカサギ0年魚の体サイズは, 採集地点や採集時期によってばらつきが大きく, 特定の体長を超えた個体が降海するといった一定の傾向は見いだせなかった。これまでも, 降海開始時期あるいは降海盛期のワカサギの体サイズには, 年変動が大きいことが指摘されており(鳥澤, 1999), 網走湖産ワカサギにおける降海個体の出現は, 体サイズに依存するものではないと考えられる。一方で, 湖内にPhase F(仔魚期)の個体が存在するにもかかわらず, 降海個体の発育段階はPhase G(稚魚期)以上の発育段階の個体に限られていた。このことから, 網走湖におけるワカサギの降海において, 個体の発育段階が稚魚期に達していることが条件の1つになっていると考えられる。網走湖産ワカサギの栄養状態の指標として分析した魚体のTG/PL比は, 7月上旬から下旬にかけて, 湖内残留個体・降海個体ともに低下する傾向が認められた。1999年の網走湖産ワカサギの降海は, 7月上旬から開始され7月下旬には降海ピークを迎えており, 降海魚の出現ピークとTG/PL比の低下とは時



**Fig. 4** Changes in the triglyceride (TG)/phospholipid (PL) ratio of lake-resident and seaward migrating *Hypomesus nipponensis* in the Lake Abashiri system. Symbols represent the mean values. Vertical bars indicate standard deviations. The seaward migrant catches were based on data provided by the Hokkaido Abashiri Fisheries Experiment Station.

期的に一致した。このことは、降海個体の出現に網走湖内におけるワカサギの栄養状態の低下が関与している可能性を示唆するものである。網走湖におけるワカサギの遡河回遊型分岐に関しては、湖内のワカサギの環境収容力を超えた分が降海するという仮説が提唱されており（鳥澤，1999），本研究は、この仮説をワカサギの栄養状態の面から支持する結果と考えられる。

本研究では、網走湖産ワカサギの降海個体の出現に関して、個体の発育段階が稚魚期に達していることが降海に必要な条件であり、さらに網走湖内のワカサギ個体群の栄養状態低下が背景にある可能性を示唆する結果が得られた。湖内のワカサギの収容力を制限する要因として、ワカサギの餌となる動物プランクトンの相対的量が関係し、ワカサギ個体群を維持する餌環境があるか否かによって降海個体の出現量が決定される可能性がある。今後、動物プランクトン量とワカサギ個体の栄養状態、降海群の出現状況を継続的に調査し、網走湖のワカサギに対する環境収容力の年変動とワカサギ降海群出現の関係性を明らかにすることが必要である。

本研究を行うにあたり、終始御指導いただいた東京農業大学名誉教授桑原連博士、元東京農業大学教授故鈴木淳志博士に心から感謝申し上げます。本稿の作成にあたり、北海道栽培漁業振興公社今田和史氏に有益な議論と貴重なご意見をいただいた。西網走漁業協同組

合川尻敏文氏と漁業者の方々には、サンプル採集に多大なご協力をいただいた。深く感謝する。

## 文 献

- 浅見大樹(2004). 網走湖産ワカサギの初期生活に関する生態学的研究. 北海道立水産試験場研究報告, **67**, 1-79.
- Hakanson, J. L. (1989). Analysis of lipid components for determining the condition of anchovy larvae, *Engraulis mordax*. *Marine Biology*, **52**, 313-319.
- Torao, M. (2000). Early developmental phase of wakasagi, *Hypomesus nipponensis*, in Lake Abashiri. *Fisheries Science*, **66**, 605-607.
- 鳥澤雅(1999). 網走湖産ワカサギの生活史多型分岐と資源変動機構. 北海道立水産試験場研究報告, **56**, 1-117.
- 宇藤均・坂崎繁樹(1983). 網走湖産ワカサギの生活史. 第1報. 網走湖におけるワカサギ漁業の歩みと生活史研究の現状. 北水試月報, **40**, 147-156.
- Zenitani, H. (1995). Analysis of lipid components for determining the nutritional condition of sardine larvae *Sardinops melanostictus*. *Fisheries Science*, **61**, 725-726.

## お知らせ

皆様にはご健勝にお過ごしのこととお慶び申し上げます。

この度、当場は、平成 22 年 4 月に地方独立行政法人北海道立総合研究機構への移行に伴い、さけます・内水面水産試験場への改称を予定しております。つきましては、昭和 16 年に孵化場試験研究報告第 1 巻 1 号で発刊した当北海道立水産孵化場研究報告は、次年度から新たな形式で発刊いたします。

当報告の新しい名称と投稿規程等につきましては、随時、ホームページなどでお知らせしてまいります。なお、問い合わせ先と住所はこれまでと同じです。

法人組織となりましても、さけますならびに内水面水産業に関する研究成果をこれまで同様に発信してまいります。どうぞ、今後とも当場の研究成果の広報普及にご協力とご理解を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

北海道立水産孵化場長 河村 博  
北海道立水産孵化場 図書出版委員長 北山 進一

### Notification

Effective April 1, 2010, Hokkaido Fish Hatchery will be reorganized into the Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization and its name will be changed into the Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute. Therefore, the name of the Scientific Report of Hokkaido Fish Hatchery, which was originally published as the Report of Hokkaido Fisheries Hatchery Research in 1941, will be changed in 2010.

Our mailing address for your inquiries will be unchanged. Authors, who hope to contribute to our scientific report, should refer to additional information on our home page as from April, 2010.

We would appreciate it if you would tell our information all of your colleagues related to your business and study.

If you have any questions about our scientific report, please contact us without your hesitation.

Sincerely,

Hiroshi Kawamura, Director General of Hokkaido Fish Hatchery  
Shinichi Kitayama, Chief Director of Publishing Office in Hokkaido Fish Hatchery

略 称 北海道立水産孵化場研報

Abbreviation Sci. Rep. Hokkaido Fish Hatchery

第 64 号の編集にあたり，下記の方々に原稿の校閲でご尽力いただきました。

ここに記してお礼いたします（敬称略）

太田博巳，小林哲夫，鳥澤 雅，眞山 紘

---

---

平成 22 年 3 月 31 日 発行

発行所 北海道立水産孵化場  
恵庭市北柏木町 3 丁目 373 番地  
電 話 0123-32-2135  
F A X 0123-34-7233  
郵便番号 061-1433

発行者 河 村 博

編集者 北海道立水産孵化場出版委員会

印刷所 株式会社 総北海

---

---

SCIENTIFIC REPORTS  
OF THE  
HOKKAIDO FISH HATCHERY

No.64

CONTENTS

---

---

TOMOYA AOYAMA, HAJIME OMORI, ANAI IJIMA, YUTAKA MURAKAMI, TOSHIO IZAWA, HIROKAZU URABE AND YASUYUKI MIYAKOSHI Comparison of adults return rates of hatchery-reared smolts originating from captive-brood and wild masu salmon .....	1 - 6
MITSURU TORAO, KATSUMI TAKEUCHI, YOSHITAKA SASAKI, KIYOSHI KASUGAI, YUTAKA MURAKAMI AND MITSUHIRO NAGATA Seasonal timing of downstream migration and migrating speed of the hatchery and wild pink salmon <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> fry in the Tohoro River, eastern Hokkaido, Japan .....	7 - 15
KOUTA MIYAMOTO, FUMIHISA TAKAHASHI, IWAO SADA, MITSUNORI RATSU, SHINJI KOMATSU, MOTOYASU KUWAKI, HIROSHI TOKUDA, NOBORU YOSHIDA AND MASATOSHI BAN Relationship between spermatocrit, pH, sperm motility and eyed egg ratio in chum salmon ( <i>Oncorhynchus keta</i> ) .....	17 - 22
<b>Short Paper</b>	
MITSURU TORAO Conditions of developmental phase and fish nutrition relevant to seaward migration of Wakasagi, <i>Hypomesus nipponensis</i> , in Lake Abashiri, Hokkaido, Japan .....	23 - 27

---

---

HOKKAIDO FISH HATCHERY  
KITAKASHIWAGI 3-373  
ENIWA, HOKKAIDO 061-1433  
JAPAN