

短 報

千歳川を降河するふ化場産および 野生産サケ稚魚の栄養状態

清水智仁^{*1a}・伴 真俊^{*2}・宮内康行^{*1b}・梅田勝博^{*1}中尾勝哉^{*3}・藤井 真^{*3}・真山 紘^{*3}

Nutritional condition of hatchery and wild chum salmon *Oncorhynchus keta* fry migrating down the Chitose River

Tomohito SHIMIZU, Masatoshi BAN, Yasuyuki MIYAUCHI, Katsuhiko UMEDA,
Katsuya NAKAO, Makoto FUJII and Hiroshi MAYAMA

The aim of this study was to compare the nutritional condition of hatchery-reared and wild chum salmon *Oncorhynchus keta* fry migrating down the Chitose River in Hokkaido, Japan. A total of 30,300,000 otolith-marked fry were released into the Chitose River from the Chitose Field Station during March and April 2013. A total of 186 chum salmon fry were subsequently captured downstream using net traps between April and June. The captured specimens included 56 hatchery-reared and 122 wild fry. Most of the hatchery-reared fry were captured shortly after being released in mid-April, while wild fish were captured throughout the sampling period with a peak in late May. The captured hatchery-reared fry were larger than the wild fish, but the condition factor, liver weight index and triglyceride content for the captured fry did not differ significantly between the hatchery-reared and wild fry. While the glycogen content of hatchery-reared fry was very high before they were released, these levels had decreased markedly compared to wild fry by the time of capture. The findings suggest that the hatchery-reared fish were under considerable nutritional stress in the river, but their nutritional condition did not threaten their survival.

キーワード：ふ化場魚，野生魚，千歳川，栄養状態

2014年7月10日受付 2015年12月18日受理

石狩川水系千歳川は、北海道中部に位置し、日本海沿岸における重要なサケ *Oncorhynchus keta* の増殖河川である。河口より約 80 km 上流に位置する国立研究開発法

人水産総合研究センター北海道区水産研究所さけます資源部千歳さけます事業所（以下千歳事業所）から、毎年約 3000 万尾のサケ稚魚が放流されている。

*1 国立研究開発法人水産総合研究センター北海道区水産研究所さけます資源部千歳さけます事業所
〒066-0068 北海道千歳市蘭越9番
9, Rankoshi, Chitose, Hokkaido, 066-0068, JAPAN
tomos@affrc.go.jp

*1a 国立研究開発法人水産総合研究センター北海道区水産研究所さけます資源部千歳さけます事業所（現所属国立研究開発法人水産総合研究センター研究推進部）

*1b 国立研究開発法人水産総合研究センター北海道区水産研究所さけます資源部千歳さけます事業所（現所属国立研究開発法人水産総合研究センター北海道区水産研究所さけます資源部天塩さけます事業所）

*2 国立研究開発法人水産総合研究センター北海道区水産研究所さけます資源部ふ化放流技術グループ

*3 公益社団法人北海道栽培漁業振興公社

放流されたサケ稚魚は、淡水から海水へ、そして沿岸域から沖合域へ移動する時期に大きな減耗を伴うと予想される(帰山 1986)。この時期の稚魚の分布や生育状態に関する情報を把握することは、放流手法を高度化するために重要である。

千歳川に放流されたサケ稚魚の河川内での動態については、小林・石川(1964)、真山ら(1982, 1983)、Hasegawa and Takahashi(2013)によって研究され、放流魚は概ね1~2週間で河口域に達することが知られている。秋山ら(1983)は、放流前の飼育池、千歳川、石狩湾で採集されたサケ稚魚の体成分を調査し、放流直後に脂質含量の低下を認めている。

三坂ら(2004)では、サケ科魚類では、脂質が生死に関わる飢餓に陥っているかどうかを判断する上で、重要な指標のひとつであること、グリコーゲン含量の変動を測定することにより、飢餓状態を客観的に評価できると考えられている。

近年、耳石温度標識技術の開発により、稚魚の分布や移動状況を放流群毎に把握することができるようになった(浦和 2001, 奈良 2006)。千歳川に放流されているすべてのサケ稚魚には耳石温度標識(以下耳石標識)が施されている。一方、千歳川には、主に12月以後に自然産卵する野生サケも存在することが知られている(長谷川ら 2014)。

本調査では耳石標識を用いることで、河川で採捕された放流魚と野生魚を識別し、これら降河する放流サケ稚魚の栄養状態を客観的に把握することと、今後のふ化場での種苗生産技術の向上に資す基礎データを得るために千歳川を降河する稚魚の採集調査を行った。

材料と方法

稚魚の放流 2012年9月5日から12月12日の間にサケ親魚より合計28回採卵した受精卵を、千歳事業所内で卵管理し、ふ化、浮上した稚魚を給餌飼育した(野川・八木沢 1994)。全てのサケ卵は発眼後に耳石温度標識装置を用いて標識を施した(福若ら 1998, 浦和 2001)。2013年3月7日から4月18日にかけて4パターンの耳石標識を施したサケ稚魚合計3,030万尾が千歳事業所より千歳川に放流された(図1)。そのうち、153万尾は他の放流群と識別可能な耳石標識パターン2,3-2-3H(Tomida *et al.* 2013)が施され4月1日に放流された(以下4月1日放流群)。各飼育群の放流時の平均尾又長と

体重は、それぞれ、4.2~5.2 cm, 0.56~1.17gの範囲であった(表1)。

稚魚採集 2013年4月11日から6月7日にかけて、3日おきに1回、合計20回の稚魚採集を放流地点より約60 km下流、石狩川と千歳川の合流点より2 km上流の地点で行った(図2)。採集には、長さ3 m, 口径50×50 cm, 目合い2 mmの吹き流し状のトラップネット(以下トラップ)を使用した。トラップは、川の流向に対して直角に張ったロープを両岸に固定し、川の中央部分と両岸から5 mの距離に合計3箇所設置した。なお、5月11日の採集よりトラップの設置数を6箇所に増やした。トラップの設置位置は左右とも岸から3 mと5 mの位置にそれぞれ2箇所ずつ、流芯部に2 mの間隔を開けて2箇所の計6箇所とした。稚魚の降河は夜間に集中することから(小林・石川 1964, 真山ら 1982, Hasegawa and Takahashi 2013)、調査は午後6~9時の3時間実施した。トラップ設置時に水温、流速、透視度を測定した。採捕した魚類および水生生物種と数量を記録し、サケ稚魚を実験室へ冷蔵して持ち帰った。持ち帰った稚魚は、-30°Cの冷凍庫で一時保管した後、-80°Cの冷凍庫で分析まで保管した。

体成分分析 栄養状態を示す指標として、トリグリセライド(中性脂肪)とグリコーゲンをを用いた。これらの含量を測定することにより稚魚の飢餓状態を客観的に評価することが知られている(三坂ら 2004)。また本調査では、肥満度と肝臓重量指数も栄養状態を示す指標として用いた。採集魚の中から無作為に選択した84尾(放流魚36尾及び野生魚48尾)と、比較のため、4月1日に千歳事業所の飼育池から無作為に採集した放流直前の

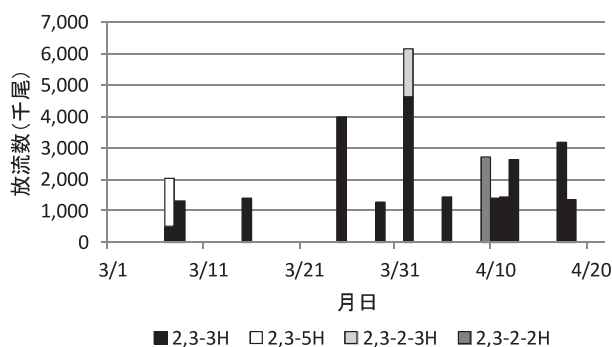


図1. 2013年3~4月に千歳事業所から放流された耳石温度標識サケ稚魚尾数
耳石温度標識パターンはTomida *et al.* (2013)による

表1. 2013年春に千歳事業所より放流された耳石温度標識サケ稚魚の概要

耳石温度標識コード	放流日	放流尾数(千尾)	平均尾又長(cm±SD)	平均体重(g±SD)
2,3-3H	3月7日~4月18日	24,429	4.7±0.4	0.88±0.25
2,3-5H	3月7日	1,538	4.5±0.2	0.65±0.10
2,3-2-3H	4月1日	1,530	4.6±0.3	0.80±0.17
2,3-2-2H	4月9日	2,731	5.0±0.4	1.11±0.32

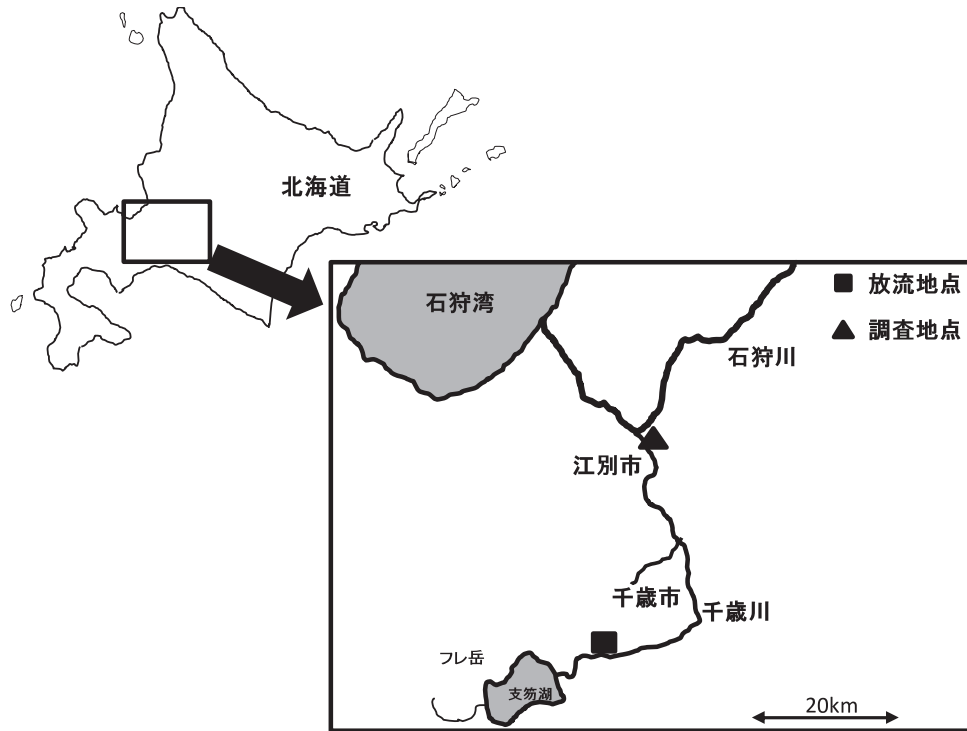


図2. 千歳川におけるサケ稚魚の放流地点と採集地点の位置

稚魚 20 尾のトリグリセライドとグリコーゲン含量を三坂ら (2004) に従って測定した。分析に先立ち、凍結した保冷剤の上で解凍を行った。解凍後、供試個体の尾叉長と体重を測定した。その後、供試個体から肝臓を摘出して重量を測定した後、グリコーゲン含量の測定に供した。グリコーゲンはグルコース C II テストワコー (和光純薬製) を用いて測定した。次いで、魚体の頭部と脂鰭以降を切断するとともに、消化管を除去し、残った体幹部を用いてトリグリセライド含量を測定した。トリグリセライドの測定にはトリグリセライド E-ワコー (和光純薬製) を用いた。

肥満度は体重 (g) / 尾叉長 (cm)³ × 10³ から算出した。グリコーゲンは肝臓 1 g 中の含有率 (%), トリグリセライドは頭部、脂鰭後の尾部、消化管を除いた魚体中の含有率 (%) で表記した。また、肝臓重量指数を求めるために、肝臓の重量を測定し、体重に占める肝臓重量の割合を指数とした (肝臓重量指数 = 肝臓重量 × 10² / 体重)。

耳石標識の確認 切断した頭部から耳石を摘出し、常法 (福若ら 1998) により耳石標識を確認し、標識のあるものを放流魚、標識のないものを自然産卵された野生魚として判別した。

統計処理 調査地点で採捕された放流魚と野生魚の尾叉長、体重及び体成分分析結果を *t* 検定で比較した。また、放流魚と野生魚それぞれの体重と体成分分析結果を回帰分析し相関をもとめた。なお、放流魚の解析は 4 月 1 日

放流群のデータと放流前放流魚のデータを含む。

結 果

稚魚の採集状況 調査期間中の調査地点における最低水温は 4 月 11 日の 5.4°C で、最高水温は 6 月 7 日の 16.9°C であった (図 3)。流速は最大流速が 4 月 20 日の 0.72 m/s から、最小流速が 6 月 4 日の 0.01 m/s までの範囲にあった。透視度は最高値が 4 月 20、26 日の 50 cm 以上 (測定限界以上) であり、最低値が 5 月 29 日の 5 cm であった。

千歳川下流の調査地点で採捕されたサケ稚魚は合計 186 尾で、そのうち放流魚は 56 尾、野生魚は 122 尾、標識が不明な起源未確定魚は 8 尾であった (表 2)。放

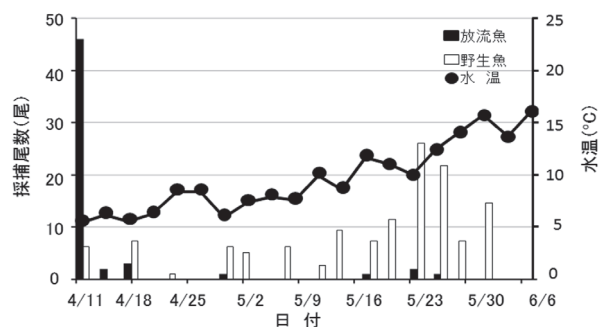


図3. 千歳川下流における調査日ごとのサケ放流魚と野生魚の採捕尾数および水温の変化

表2. 千歳川下流で採捕されたサケ放流魚と野生魚の尾数、標識が不明で起源未確定魚8尾は含まれていない

採捕月	放流魚			野生魚		
	採捕尾数 (尾)	平均尾叉長 ±SD (cm)	平均体重 ±SD (g)	採捕尾数 (尾)	平均尾叉長 ±SD (cm)	平均体重 ±SD (g)
4月	52	43.1±4.7* ^a	0.68±0.21* ^b	17	33.5±3.7* ^a	0.27±0.12* ^b
5月	4	55.9±7.4* ^c	1.33±0.52	91	34.3±3.4* ^c	0.45±0.45
6月	0	-	-	14	35.2±5.7	0.36±0.24
合計	56	44.0±5.9	0.72±0.29	122	34.3±3.8	0.41±0.41

*^{a,b,c}は、放流魚と野生魚の間にそれぞれ有意差あり($p<0.05$)

流魚は4月11日から5月26日にかけて採捕されたが、大部分(82%)は4月11日に集中した(図3)。これに対し野生魚の採捕は、4月11日から6月1日まで幅広い期間に渡り、5月下旬にピークがみられた(図3)。調査期間中に採捕した放流魚の尾叉長組成は、28.9~62.0 mmの範囲にあり、43.8 mmが中央値であった(図4)。野生魚の尾叉長組成は、26.2~48.0 mmの範囲にあり、33.9 mmが中央値であった(図4)。放流魚と野生魚の尾

叉長には有意差がみられ($p<0.05$)、放流魚の方が大型であった。なお、尾叉長30 mm前後の野生魚には、卵黄が外見的に確認され浮上直後と判断された個体も含まれていた。

4月1日放流群は4月11日に3個体が採集された。この放流群の体サイズは、放流前が平均尾叉長43.2 mm、平均体重0.78 g ($n=5$)、採捕時が平均尾叉長46.5 mm、平均体重0.79 g ($n=3$)であった(表3)。

稚魚の体成分 サケ稚魚の平均肥満度は、放流前が9.38、採捕された放流魚が7.70、野生魚が7.15であり、採捕された放流魚と野生魚間で有意差が見られた($p<0.05$, 表3)。平均肝臓重量指数は、放流前が1.53、採捕された放流魚が1.08、野生魚が1.02で、採捕された両群間で有意差はなかった($p>0.05$, 表3)。放流魚の平均グリコーゲン含量は、放流前に非常に高く(2.76%)、放流後は急激に減少し(0.18%)、野生魚(0.95%)よりも有意に低くなった($p<0.05$, 表3)。平均トリグリセライド含量は、放流前が1.24%、採捕された放流魚が0.87%、野生魚が0.86%であり、有意差はなかった($p>0.05$, 表3)。4月1日放流魚について放流前と採捕時の平均値を比較すると、肥満度、肝臓重量指数、グリコーゲン含量、トリグリセライド含量が、放流前よりも採捕時に低かった(表3)。採捕した放流魚の体重とグリコーゲン含量($r^2=0.03$, $p>0.05$)、野生魚の体重とグリコーゲン含量($r^2=0.05$, $p>0.05$)、放流魚の体重とトリグリセライド含量($r^2=0.03$, $p>0.05$)、野生魚の体重とトリグリセライド含量($r^2=0.02$, $p>0.05$)の間には、いずれも明確な相関関係がみられなかった(図5)。野生魚のグリコーゲン含量は、卵黄の吸収を終えていないと思われる体重0.3g以下の小型魚で比較的高い値が見られた(図5)。

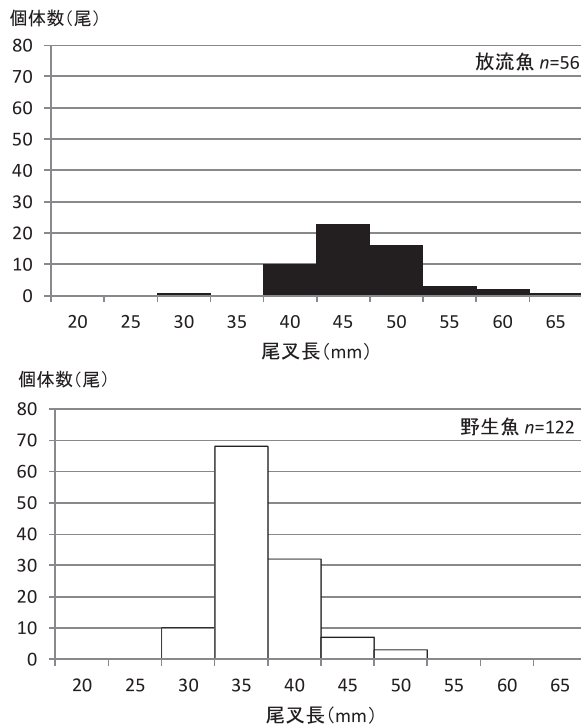


図4. 千歳川下流で採捕されたサケ放流魚と野生魚の尾叉長の組成

表3. 千歳事業所で採集した放流前のサケ稚魚および千歳川下流(江別)で採捕された放流魚と野生魚の栄養分析値(平均値±SD)

グループ	分析尾数	尾叉長 (mm)	体重 (g)	肥満度	肝臓重量指数	グリコーゲン (%)	トリグリセライド (%)	備考
放流前の放流魚	15	45.7±5.4	0.92±0.39	9.38±0.84	1.53±0.29	2.76±0.96	1.24±0.20	
放流魚(江別採捕)	37	44.7±4.8	0.71±0.23	7.70±0.68	1.08±0.39	0.18±0.33	0.87±0.32	江別採捕の4月1日放流群を含む
野生魚(江別採捕)	50	35.3±3.3*	0.33±0.13*	7.15±0.90*	1.02±0.45	0.95±2.19*	0.86±0.45	
4月1日放流群(放流前)	5	43.2±3.5	0.78±0.18	9.47±0.60	1.67±0.17	3.71±0.87	1.11±0.15	
4月1日放流群(江別採捕)	3	46.5±3.1	0.79±0.14	7.83±0.63	1.02±0.75	0.02±0.03	0.92±0.21	

*両者の間に有意差あり($p<0.05$)

放流サケ稚魚の栄養状態

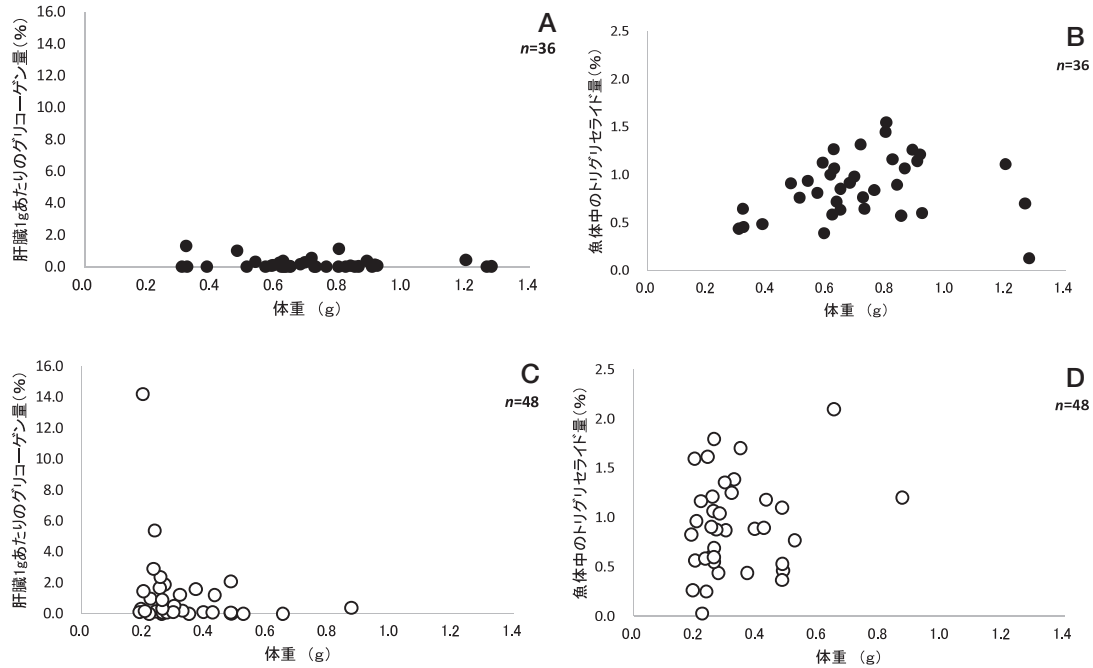


図5. 千歳川下流で採捕されたサケ放流魚と野生魚の体重と体成分の分布
 A：放流魚のグリコーゲン量，B：放流魚のトリグリセライド量，
 C：野生魚のグリコーゲン量，D：野生魚のトリグリセライド量

考 察

調査地点において採捕された放流魚の尾叉長は最大で 62 mm に対して、野生魚では最大尾叉長が 48 mm であった。また、採捕された放流魚のサイズは 4 月よりも 5 月に増加したのに対し、野生魚の体サイズには経時変化がほとんどみられなかった。真山ら (1983) は、3 月放流群以外の大部分の稚魚は、放流後 10 日間の期間のうちに降海するとしている。また、Hasegawa and Takahashi (2013) は、3 月中旬に放流試験を行い、最も稚魚が採集された時間は、放流当日の夜間であり、3 日後には放流した稚魚を採捕することができなかったことを報告している。これに対し、本調査で採捕された野生魚は、体サイズから判断し、そのほとんどが浮上直後に上流域に滞留することなく降河していると推察される。

今回の調査では、卵黄を残した尾叉長 40 mm (体重 0.5g) 以下の野生魚が長期にわたり採捕されており、体成分分析の結果では、放流魚に比べグリコーゲン含量が高かった。卵黄が存在する時期のサケ稚魚は摂餌を行わず、卵黄中に含まれる脂質を使って生命維持を行っていると考えられている (坂田ら 1985)。体成分を分析した野生稚魚には、内部栄養から外部栄養へ切り替わっていないと思われる魚が混在し、そのためグリコーゲン含量の比較的高い個体が存在した可能性がある (図 5)。なお、野生魚のトリグリセライド量は、卵黄吸収を終えた稚魚でも比較的高い値を示した。一方、放流魚では、トリグリセライド含量は野生魚と同等であるが、肝臓のグ

リコーゲン含量は放流前に非常に高く、放流後は河川内で短期間に減少し、卵黄吸収を終えた野生稚魚と同じレベルとなることが示唆された。飢餓状態では、体重に比例し肝臓蓄積エネルギーが消費され、その後ある値より減少した場合には死亡すると考えられている (今井 1991)。また、伴ら (1996) のサケ幼魚の絶食と再給餌による生理学的影響を調べた実験では、サケ幼魚が飢餓に至る過程には 2 つの段階があり、第一段階 (絶食開始から 10 日目) では、脂質を中心に蓄積していた栄養が消費され、第二段階 (絶食 10 日目から 20 日目) では、蓄積していた栄養が消費し尽くされ、栄養源を筋肉等の体組織に転換するとされている。この段階に至ると体内の恒常性が乱れ、死亡個体が急増するとともに、環境変化に対する抵抗力が極端に衰えると報告している。自然界で採集したサケ稚魚の肝臓中にはグリコーゲンの蓄積がほとんど認められないことから、放流後のサケ稚魚の栄養状態を評価するには、グリコーゲン含量よりトリグリセライド含量の方が指標として優れていると考えられる。絶食試験を行った結果、トリグリセライド含量は絶食前の個体が 0.8% を示したのに対し、試験群の半数以上が死亡する時期個体では 0.3% 以下に低下していたことから、この値を下回る個体の栄養状態は極めて悪いと判断できる。(伴、未発表)。今回の調査で下流域にて採捕された放流魚のトリグリセライド含量は、同時に採捕された野生魚とあまり差がみられず、大部分の個体で 0.5% 以上であったことから (図 5)、河川中の放流サケ稚魚は概ね生存可能な状態であったと推察される。

これらのサケ稚魚が降海後にどのような成長と栄養状態になるか知ること興味深い。筆者らは、石狩湾においても降海したサケ稚魚の調査を行ったが、今回は石狩湾において十分な稚魚を得ることができなかった。また、放流群の判別を耳石標識で行っているため、放流群を特定する前に体成分分析を行わなければならなかった。このため、体成分分析用に放流日の特定できる耳石標識を持つ標本数を十分に確保できなかった。河口域や降海後の稚魚の栄養状態を把握することは、海洋への稚魚の適応状況やその後の稚魚の生残を推察するために重要と考える。今後は石狩湾で採捕された稚魚も含めて、分析に供する個体数を増やし、放流魚の栄養状態を把握する必要がある。

孵化放流事業の成功は“健康な種苗を育成し、適切な時期に放流する”ことに尽きる(関 2013)。健全な種苗を生産するためにも、放流後の稚魚の状態を知り、放流前の飼育状態を振り返ることが重要と考える。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、国立研究開発法人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の職員、同さけます資源部ふ化放流グループの職員、並びに、公益社団法人北海道栽培漁業振興公社の職員の皆様にご協力をいただいた、ここに感謝の意を表す。報告を作成するにあたり、国立研究開発法人水産総合研究センター北海道区水産研究所さけます資源部 浦和茂彦博士にご指導をいただいた。ここに感謝の意を表す。

文 献

- 秋山敏男・村井武四・能勢健嗣(1983)放流シロザケの体成分の変化。養殖研究所研究報告, **4**, 107-112.
- 伴 真俊・長谷川裕康・江連睦子(1996)絶食と再給餌がさけ幼魚に与える生理学的影響。北海道さけ・ますふ化場研究報告, **50**, 117-123.
- 福若雅章・川名守彦・浦和茂彦(1998)水温制御による大量耳石標識。さけ・ます資源管理センターニュース, No.2,

10-11.

- 今井千文(1991)山口県深川湾におけるマダイ人工放流魚と天然当歳魚の計測形質の比較。水産大学校研究報告, **39**, 49-70.
- Hasegawa K, Takahashi S (2013) Microscale environments along the seaward migration route of stocked Chum salmon fry. *Transactions of the American Fisheries Society*, **142**, 1232-1237.
- 長谷川功・宮内康行・清水智仁(2014)北海道千歳川で冬季に自然産卵する野生サケの現状。魚類学雑誌, **61**, 125-127.
- 婦山雅秀(1986)サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の初期生活に関する生態学的研究。北海道さけ・ますふ化場研究報告, **40**, 31-92.
- 小林哲夫・石川嘉郎(1964)サケ稚魚の生態調査Ⅷ 千歳川, 石狩川のサケ稚魚の生長と食性について。北海道さけ・ますふ化場研究報告, **18**, 7-15.
- 真山 紘・加藤 守・関 二郎・清水幾太郎(1982)石狩川産サケの生態調査Ⅰ 1979年春放流稚魚の降海移動と沿岸帯での分布回遊。北海道さけ・ますふ化場研究報告, **36**, 1-17.
- 真山 紘・関 二郎・清水幾太郎(1983)石狩川産サケの生態調査Ⅱ 1980年及び1981年春放流稚魚の降海移動と沿岸帯での分布回遊。北海道さけ・ますふ化場研究報告, **37**, 1-22.
- 三坂尚行・水野伸也・宮腰靖之・竹内勝巳・鷹見達也・笠原昇(2004)飢餓中のサクラマス当歳魚の肝臓におけるトリグリセライドおよびグリコーゲン含量の変動。日本水産学会誌, **70**, 168-174.
- 奈良和俊(2006)第1期中期計画における業務成果。さけ・ます資源管理センターニュース, **16**, 1-3.
- 野川秀樹・八木沢 功(1994)サケ稚魚の適正な飼育環境(総説)。北海道さけ・ますふ化場研究報告, **48**, 31-39.
- 坂田澄雄・中野 広・安藤義秀・白旗総一郎(1985)成長にともなうサケ稚魚のグリコーゲンと脂質含量の変化。北水研報告, **50**, 79-82.
- 関 二郎(2013)さけます類の人工孵化放流に関する技術小史(放流編)。水産技術, **6**, 69-82.
- Tomida Y, Ohnuki T, Watanabe N, Miyauchi Y, Okada Y, Iida M, Urawa S (2013) Releases of Otolith Marked Salmon from Japan between Fall of 2012 and spring of 2013. NPAFC Doc. 1484. 12 p.
- 浦和茂彦(2001)さけ・ます類の耳石温度標識:技術と応用。さけ・ます資源管理センターニュース, No.7, 3-11.