北水試研報　83，13－17（2013）
Sci. Rep. Hokkaido Fish. Res. Inst.

暑寒別川における異なるサイズで放流したサケの河川回帰率

實吉隼人*[1]，宮腰靖之[2]，工藤　智[2]，河村　博[3]

[1]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，
[2]北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場，[3]積丹町農林水産課

Body size of juveniles released and its effect on the return rate of chum salmon in Shokanbetsu River, Hokkaido, Japan

HAYATO SANEYOSHI*[1], YASUYUKI MIYAKOSHI[2], SATOSHI KUDO[2] AND HIROSHI KAWAMURA[3]

[1]Hokkaido Research Organization, Doto Research Branch, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, *Nakashibetsu, Hokkaido*, *086-1164*,
[2]Hokkaido Research Organization, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, *Eniwa, Hokkaido, 061-1433,*
[3]Shakotan-*cho*, Agriculture, Forest and Fisheries Section, *Shakotan, Hokkaido, 046-0292, Japan*

To investigate the effect of release size of chum salmon *Oncorhynchus keta* juvenile on the return rate in Shokanbetsu River, northern Hokkaido, small and large body size groups of otolith-marked juveniles were released in 1996 and 1997. The mean fork length and body weight of small and large size groups at release were 49.0 mm, 0.95 g and 54.0 mm, 1.32 g in 1996, and were 46.0 mm, 0.77 g and 51.0 mm, 1.09 g in 1997, respectively. The return rates were calculated by cumulative numbers of 3-5 age fish returned to Shokanbetsu River from 1998 to 2001 divided by numbers of fish released. The return rates of small and large size groups released in 1996 were 0.105% and 0.097%, and those released in 1997 were 0.109% and 0.138%, respectively. These results suggest large body size at release is not always effective to increase the return rate of chum salmon.

キーワード：回帰率，　サケ，　標識放流，　放流サイズ

現在，北海道では人工ふ化により毎年約10億尾のサケ *Oncorhynchus keta* 稚魚が放流され，最近10年間（2003～2012年）では3,752～6,058万尾のサケが来遊している。サケの来遊数は1970年代から急激に増加したが，これは1960年代後半から本格的に行われた給餌飼育に依る放流稚魚の健苗性の向上，沿岸環境に合わせた適期放流といった増殖技術の向上（小林，2009）と北太平洋の好適環境（帰山，2002）によるものと考えられている。しかし，来遊数の増減は地域により差があり，北海道のサケ増殖5海区（オホーツク海区，根室海区，太平洋えりも以東海区，えりも以西海区，日本海区）においても異なっている（Miyakoshi and Nagata, 2012）。この内，日本海区では来遊数の増加が最も遅く現れ，更にその水準も他の海区に比べて低いレベルで推移してきた（Fig. 1）。

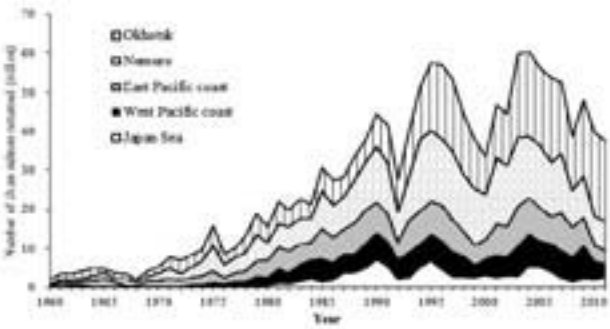

Fig. 1　Number of adult chum salmon returned to five regions of Hokkaido, from 1960 to 2011.

サケの生活史において，稚魚が河川から沿岸に移動した直後の海洋生活初期に大きな減耗が生じる（Healey, 1982; Bax, 1983）。この減耗が親魚の来遊数の年変動や地域間の差に繋がると考えられている。そのためサケ幼魚の沿岸生活期における生態を明らかにする調査研究が行われ，沿岸域での幼魚の分布には体サイズや水温，餌生物等が関

報文番号A488（2012年12月3日受理）
Tel：0153-72-6141．Fax：0153-72-5188．E-mail:saneyoshi-hayato@hro.or.jp

係することが明らかとなった（真山ら，1982; 入江，1990）。

北海道の日本海沿岸は降海後のサケ幼魚の保育場となる入江に乏しく，対馬暖流による水温上昇も早いことからサケ幼魚の成育が不利と考えられる。そこで1995年から1999年にかけて北海道日本海北部地区の増毛沿岸において沿岸環境ならびに幼魚の沿岸生態に関する調査が行われ、これに合わせて増毛沿岸に河口を持つ暑寒別川から稚魚の大量標識放流を行い，親魚の回帰状況を調査して生残に係る沿岸環境や放流条件について検討した（北海道立水産孵化場，2000; Kawamura *et al*., 2000）。

サケの海洋生活初期には新たな環境下での摂餌や捕食者からの逃避への適応から，遊泳力の高い体の大きな個体が生存に有利と考えられている（帰山，2002）。前述の暑寒別川からのサケの標識放流において，1995年級群および1996年級群では放流時の魚体サイズが生き残りに与える効果を明らかにするために，両年級群の中で放流サイズを違えた2群の放流を行った。本報告ではこれらの標識放流群の回帰結果を取りまとめ，暑寒別川において放流サイズが回帰率に与える影響について検討した。

試料および方法

標識放流　本研究における標識放流では，1995年と1996年に北海道日本海北部地区の暑寒別川（Fig. 2）に回帰したサケから採卵した卵を用いた。両年ともに同じ採卵月日の卵を2群に分けて飼育水温や給餌率を変え，成長コントロールを行うことにより体サイズの異なる2群を生産した。

標識は発眼卵期にアリザリンコンプレクソン（ALC）を使用した耳石染色で行った。ボックス型孵化器3台を上中下段の1列に配置し，上段と中段の2台に計120万粒の発眼卵を収容し，下段には水中ポンプを入れて上段に再び注水し，200ppmに調整したALC溶液を24時間循環した。浸漬中の水温上昇と溶存酸素量の低下を防ぐために，下段に簡易冷却装置の投入とエアレーションを行った。ALCによる耳石標識は積算水温と実施回数を変えて4パターン（一重リング，二重リング，一重小リング，一重大リング）を設定し，両年の2群を標識した。標識作業，飼育ともに北海道立水産孵化場増毛支場（当時）で行った。

標識魚の放流は，1995年級群では10月23日採卵で放流時の平均尾叉長が49.0 mm，平均体重0.95 gの小型群（一重リング）1,123千尾と平均尾叉長54.0 mm，平均体重1.32 gの大型群（二重リング）1,138千尾を1996年4月12日に増毛支場の飼育池から放流した（Table 1）。1996年級群では10月21日採卵で平均尾叉長46.0 mm，平均体重0.77 gの小型群（一重小リング）1,282千尾と平均尾叉長51.0 mm，平均体重1.09 gの大型群（一重大リング）1,264千尾を1997年4月7日に放流した。両年級群ともに標識放流群間の放流時の平均尾叉長，平均体重は有意に異なっていた（*t*検定，$p<0.05$）。

なお，標識放流試験を行った2年級における暑寒別川への総放流尾数は1995年級群が13,014千尾，1996年級群が13,338千尾であった。総放流尾数に対する標識放流尾数の割合は1995年級群の小型群が8.63%，大型群が8.74%であった。1996年級群では小型群が9.61%，大型群が9.48%であった。

回帰調査　1995年級群が3年魚として回帰する1998年から，1996年級群が5年魚で回帰する2001年までの10月から11月にかけて旬に1～3回，暑寒別川で捕獲した親魚の中から採卵の為に使用された雌親魚のうち，1回あたり約200尾の尾叉長を測定し，採鱗を行った後，耳石を摘出した。

回収した耳石は蛍光顕微鏡で観察してALC標識の有無を確認した。ALC標識を確認した耳石はエポキシ樹脂で包埋後，自動刃物研磨機で研磨して標識パターンを確認した。標識パターンと鱗による年齢査定から放流群を確定

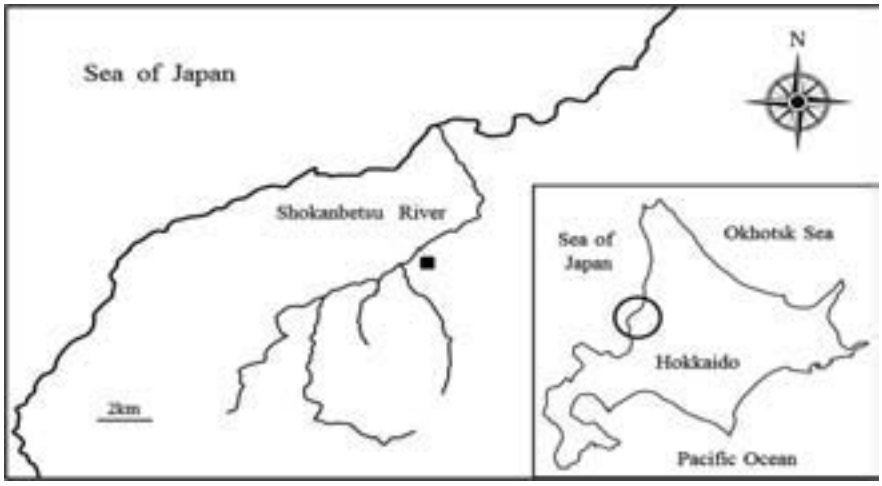

Fig. 2　Location of Shokanbetsu River in Hokkaido, northern Japan. Solid square indicates release site.

Table 1　Data for marked chum salmon released in Shokanbetsu River, 1996 and 1997

Year class	Group	Date of fertilization	Mean fork length (mm)	Mean body weight (g)	Number of fish released (thousand)	Release date
1995	Small size	23 Oct. 1995	49.0	0.95	1,123	April 14, 1996
	Large size		54.0	1.32	1,138	
1996	Small size	21 Oct. 1996	46.0	0.77	1,282	April 7, 1997
	Large size		51.0	1.09	1,264	

Table 2　Number of chum salmon sampled for otolith in Shokanbetsu River

Year class	Year	October			November	Total
		early-	mid-	late-	early-	
1995	1998	315	782	913	105	2,115
	1999	230	961	1,257	594	3,042
	2000	288	297	412		997
1996	1999	230	961	1,257	594	3,042
	2000	288	297	412		997
	2001	198	593	199		990

した。

河川回帰率の推定　調査旬毎に標識魚の発見尾数を調査尾数で除し，各標識群の標識率（調査尾数に占める標識魚の割合）を求めた。捕獲の翌旬に採卵することが多かったことから，蓄養期間による捕獲時期と調査時期の差を考慮して各調査旬の標識率を1旬前の雌親魚捕獲尾数に乗じて旬毎の推定標識魚捕獲尾数を算出した。本研究では捕獲以外に暑寒別川に回帰した親魚尾数を把握していないので，捕獲尾数を回帰尾数として扱い，旬毎の推定標識魚捕獲尾数の合計を各標識群の推定回帰尾数とみなした。本研究では採卵に使用された雌親魚のみを調査したので，標識放流魚の性比を1 : 1と仮定して放流尾数の半数で推定回帰尾数を除し，各標識群の河川回帰率を求めた。

結　果

標識魚の確認　1995年級群では1998年から2000年にかけて暑寒別川に回帰した3年魚から5年魚の雌親魚の内6,154尾の耳石を調査し（Table 2），小型群135尾，大型群132尾を確認した（Table 3）。回帰時の平均尾叉長と標準偏差は小型群で64.8±4.1 cm, 大型群で64.7±3.7 cmと差はなかった（*t*検定，p>0.05）。1996年級群では1999年から2001年にかけて雌親魚5,029尾を調査し，小型群85尾，大型群111尾を確認した。回帰時の尾叉長は小型群で61.9±4.6 cm, 大型群では62.2±5.2 cmとなり, 1995年級群と同様に有意な差はみられなかった（*t*検定，p>0.05）。

河川回帰率　各標識放流群における3~5年魚の雌親魚の推定回帰尾数は，1995年級群では小型群が587尾，大型群が551尾であった。1996年級群では小型群が696尾, 大型群が869尾となった（Table 3）。結果として雌の河川回帰率は1995年級群では小型群が0.105%，大型群が0.097%であった。1996年級群では小型群が0.109%，大型群が0.138%となり，大型群の河川回帰率が小型群の約1.3倍となった（Table 4）。年級群ごとにχ^2検定により回帰率の差の検定を行った結果，1995年級群の2群の回帰率の差は有意ではなかったが（χ^2=1.67，d.f.=1; p>0.05），1996年級群の2群の回帰率の差は有意であった（χ^2=21.66，d.f.=1; p <0.01）。

Table 3　Number of marked female fish captured at Shokanbetsu River and mean fork length

Year class	Group	Age	Number of marked fish recovered	Estimated number of marked fish returned	Fork length (cm)	
					Mean	SD
1995	Small	3	8	94	57.2	2.6
		4	123	440	65.2	3.2
		5	4	53	68.3	12.3
		Total	135	587	64.8	4.1
	Large	3	11	78	57.0	3.0
		4	120	460	65.3	2.9
		5	1	13	74.0	-
		Total	132	551	64.7	3.8
1996	Small	3	35	85	58.5	3.1
		4	44	501	63.5	3.1
		5	6	110	70.7	3.8
		Total	85	696	61.9	4.6
	Large	3	57	135	58.5	2.2
		4	41	500	64.5	3.8
		5	13	234	71.1	2.9
		Total	111	869	62.2	5.2

Table 4　Estimated return rate of marked chum salmon released in Shokanbetsu River

Year class	Group	Number of marked juvenile released (thousand)	Mean weight at release (g)	Total number of marked female recovered (total of 3-5 age)	Estimated number of marked female fish returned (total of 3-5 age)	Return rate *1 (%)
1995	Small	1,123	0.95	135	587	0.105
	Large	1,138	1.32	132	551	0.097
1996	Small	1,282	0.77	85	696	0.109]*2
	Large	1,264	1.09	111	869	0.138]*2

*1 Return rate (%) = Estimated number of marked female fish returned / (Number of marked juvenile released / 2)　×100
*2 Chi-square test, d.f.=1, $P < 0.01$

考　察

1995年級群の比較放流試験から，放流時の平均尾叉長が49.0 mm，平均体重0.95 gの小型群と54.0 mm，1.32 gの大型群では河川回帰率に差はみられなかった。一方で1996年級群の試験からは放流サイズが46.0 mm, 0.77 gの小型群よりも，51.0 mm，1.09 gの大型群で高い河川回帰率が示され，放流サイズの大型化が回帰率の向上に効果を及ぼす結果となった。両年級群の回帰結果から暑寒別川においては放流サイズの大型化が必ずしも河川回帰率を高める訳ではない事が示された。暑寒別川における放流サイズが生き残りに及ぼす効果について以下のように考察する。

サケの初期生活期について帰山（1986）は，外部形態や骨格形成の観察から尾叉長38～50 mmの時期を稚魚期，50～80 mmの時期を幼魚期前期と区分した。稚魚期には浮上し，内部栄養から外部栄養への転換が生じ，摂餌機能と遊泳機能の基礎が構築される。幼魚期前期には消化管が完成され，各体部分長比が安定し，摂餌機能と遊泳力

が著しく強化される。また，入江（1990）は尾叉長50 mm前後で形態的な変化が起こるのに伴い，港湾や入江といったごく沿岸の海域から沖合へと移動する事を示した。このようにサケは尾叉長50 mm前後で形態，生理，生態の面で大きく変化する。本研究では1995年級群の両群は，概ね幼魚期前期の発育段階に達している一方で，1996年級群の小型群は尾叉長46 mmと稚魚期の発育段階にあった。したがってサイズの違いというよりも発育段階の違いからくる摂餌や遊泳能力の違いが両群の結果に違いを生じさせた要因なのかもしれない。

幼魚期前期の発育段階にあった3群の放流サイズは尾叉長が49～54 mm，体重が0.95～1.32 gの範囲にあり，日本海北部地区においてはこの範囲では大型であっても回帰への効果は現れない可能性も考えられる。これ以上のサイズにおける効果は分からないが，必要以上の大型化は飼育密度（単位体積当たりの飼育重量）の上昇による健康状態への影響（Mizuno *et al*., 2010）や，長期飼育による放流時期と沿岸での生息適水温期とのずれ等，放流サイズの大型化以外の要因による回帰率の低下も懸念される。現在のサケの増殖事業は，放流サイズの大型化へ進んできた。しかし，本調査で示された様に，大型化が常に回帰率を高めるとは限らない。本考察の放流時の発育段階に加え，放流後の沿岸環境（宮腰ら，2007）や離岸後の環境，飼育環境を始めとする様々な条件が回帰率と関係すると考えられる。そして，これらの条件は海区や地域，飼育施設ごとにも異なると考えられる。今回の様な標識放流を用いた放流群単位での検証についても，海洋環境との相互関係を考慮する必要がある。その上で最適な放流サイズや放流時期を明らかにしていく必要がある。

謝　辞

本研究における標識放流群の飼育管理，親魚の回帰調査に尽力された北海道立水産孵化場増毛支場（当時）の職員の皆様に心から感謝を申し上げます。社団法人北海道栽培漁業振興公社の岡田鳳二博士には本原稿に多くの有益な助言をいただきました。厚くお礼申し上げます。

引用文献

Bax NJ. Early marine mortality of marked juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) released into Hood Canal, Puget Sound, Washington, in 1980. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1983; 40: 426－435.

Healey MC. Timing and relative intensity of size-selective mortality of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) during early sea life. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1982; 39: 952－957.

北海道立水産孵化場．日本海区さけます回帰率向上対策調査報告書．北海道立水産孵化場，恵庭．2000; 146p.

入江隆彦．海洋生活初期のサケ稚魚の回遊に関する生態学的研究．西水研研報 1990; 68: 1－142.

帰山雅秀．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・ますふ化場研報 1986; 40: 31－92.

帰山雅秀.「最新のサケ学」．成山堂書店，東京，2002.

Kawamura H, Kudo S, Miyamoto M, Nagata M, Hirano K. Movements, food and predators of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) entering the coastal sea of Japan off northern Hokkaido in warm and cool years. *N. Pac. Anadr. Fish. Comm. Bull.* 2000; 2: 33－42.

小林哲夫.「日本サケ・マス増殖史」．北海道大学出版会，札幌，2009.

真山　紘，加藤　守，関　二郎，清水幾太郎．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滞での分布回遊．北海道さけ・ますふ化場研報 1982; 36: 1－17.

宮腰靖之，永田光博，齊藤誠一．衛星リモートセンシングにより観測したオホーツク海東部地区の春季の沿岸水温とサケの回帰率の関係．北海道立水産孵化場研報 2007; 61: 1－10.

Miyakoshi Y, Nagata M. Recent patterns in return rate of chum salmon to different regions of Hokkaido. *N. Pac. Anadr. Fish. Comm. Tech. Rep.* 2012; 8: 29－31.

Mizuno S, Hatakeyama M, Nakajima M, Naito K, Koyama T, Saneyoshi H, Kobayashi M, Koide N, Misaka N, Ueda H. Relationship between rearing conditions and health in chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fry. *Aquaculture* 2010; 58: 529－531.

永田光博．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．2009; 19－34.