

さけ稚魚の海水適応能力に関する研究

佐藤美智男・小野剛・佐藤仙太

Studies on Seawater Adaptability of Chum Salmon Fry,
Oncorhynchus keta (Walbaum)

Michio SATO, Takeshi ONO and Senta SATO

ま え が き

シロサケは、本県の栽培漁業の先駆者であり、沿岸漁業における資源培養型魚種として増殖事業が進められてきた。本県における人工孵化事業の歴史は古く、新田川、請戸川が明治後期に開始され、木戸川が大正初期に開始されたとある¹⁾。

その来遊尾数は、明治以前に15万尾の捕獲があったとの報告もあるが、当水試の事業報告書によれば、1930年～1978年にかけては数万尾であったが、1978年から10万尾を超え、1988年から1998年は40～60万尾となっている²⁻⁵⁾。

この来遊量の増加は、さけ資源増大計画を基として放流稚魚数の増加、放流サイズの大型化、稚魚飼育技術の向上等とされている。しかし、回帰率（単純回帰率；来遊尾数／4年前の稚魚放流尾数）は、1979年～1998年の間は0.49～1.42%にあり、安定した来遊状況ではない。

また、放流稚魚は、1982年以前は0.5g以下で無給餌飼育の稚魚、1980年～1991年までは0.6g以上の給餌飼育の稚魚、1992年以降は0.8g以上の給餌飼育の稚魚を放流しているが、稚魚サイズが回帰率向上に直接関与したとは考え難い結果となっている（図1，2，3）。

当県の稚魚放流は0.8g以上の稚魚を3月末までに河川に放流しているが、放流場から河口までの流程が比較的短い河川が多くかつ河口閉塞の特徴を有し、餌料の不足や鳥類等による初期減耗が回帰に影響しているのではないかと考え、そこで著者らは、河川放流でなく海面直接放流により初期減耗の軽減が図られるのではないかと想定した。

海面直接放流にかかるさけ稚魚の生理・生態特性として、海水適応能力は、どの程度のサイズから有しているのかを検討するため室内実験を行ったので報告する。

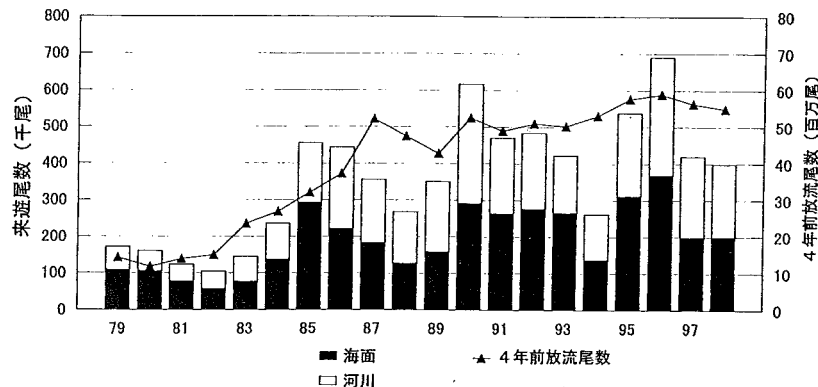


図1 福島県におけるシロサケの来遊尾数と4年前放流稚魚尾数

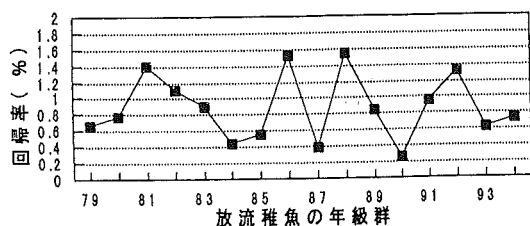


図2 放流年級群別回帰率

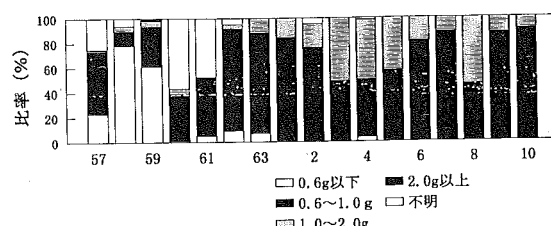


図3 年次別、サイズ別放流割合

材料および方法

1 室内実験

室内実験に供した稚魚は、1999年1月29日に泉田川ふ化場（浮上直前の稚魚：積算温度921℃、平均体重0.39g、稚魚の20%は卵黄が未吸収）で管理中のものを当水試に持ち込み、以降当場の飼育実験室で淡水による飼育を継続し、体サイズ別に血清Naイオン濃度、海水へ放養後の生物餌料（アルテミア幼生）の摂餌状況、無給餌でのへい死状況を調べた。全体の実験の流れを図4のフローに示す。

血清Naイオン濃度

供試稚魚は実験1が積算温度980℃、平均体重0.38g、実験2が積算温度1,083℃、平均体重0.47g、実験3が積算温度1,239℃、平均体重0.80gで、海水へ放養後の採血時間は、24、96時間経過後とした。実験期間中の淡水区は配合飼料（飼育重量の2～3%/日）、海水区はアルテミア幼生（給餌密度20個体/ml・日）を給餌した。

血清分析は、(株)クレハ分析センターに委託したが、その分析方法は試料を遠心分離（3,000 r.p.m.で10分間）して得た血清を2,000倍希釈後、ICP（高周波誘導結合プラズマ蛍光分光分析装置）を用いて標準添加法で定量したものである。

海水移行後の生物餌料の摂餌状況

飼育は、止水で1日1回飼育海水を全換水とし、水温は室温条件、通気は家庭用のミニポンプで約10l/minとした。

魚体サイズ（積算温度931.5℃～1,239℃）別に、淡水飼育中の稚魚を約2日間の餌止め後、海水を入れた50lアクリル水槽に放養し、その直後にアルテミア幼生を飼育水1mlあたり20～30個体になるように給餌して、環境変化に伴う摂餌対応を調べた。捕食状況は、原則として給餌後2時間後に水槽から20尾を無作為に取り出し、胃内容物を調べた。なお、アルテミア幼生は市販の栄養強化餌料、添加剤を使用せず、ふ化した幼生を無処理でさけ稚魚に給餌した。

無給餌でのへい死状況

飼育は、止水で2日に1回飼育海水を全換水し、水温は室温条件、通気は家庭用のミニポンプで約10l/minとした。

魚体サイズ別（積算温度921℃、980℃、1,239℃）の生残状況については、海水移行後の生物餌料の摂餌状況調査と同時に、海水を入れた30lアクリル水槽に実験回次ごとに、稚魚を78尾（予備試験）、52尾（実験1）、88尾（実験3）を放養し、濾過海水で無給餌飼育を行った。

2 放流河川の流程と水温

さけ稚魚放流している12河川について、国土庁発行の市町村地図（縮尺1/50万～1/3万）より放流場から河口までの流程距離を測定した。なお、宇多川については、河口の位置を松川浦への流入口として測定した。

12河川の河川水温については、水質年報より月1回の観測資料を1988年～1997年までを集計し、1月から3月の月別平均水温、観測水温範囲を整理した。また、松川浦と小名浜地先の海水水温を河川と比較するため、1992年～1997年までの当試験場の揚水水温と水産試験場相馬支場の観測水温を整理した。

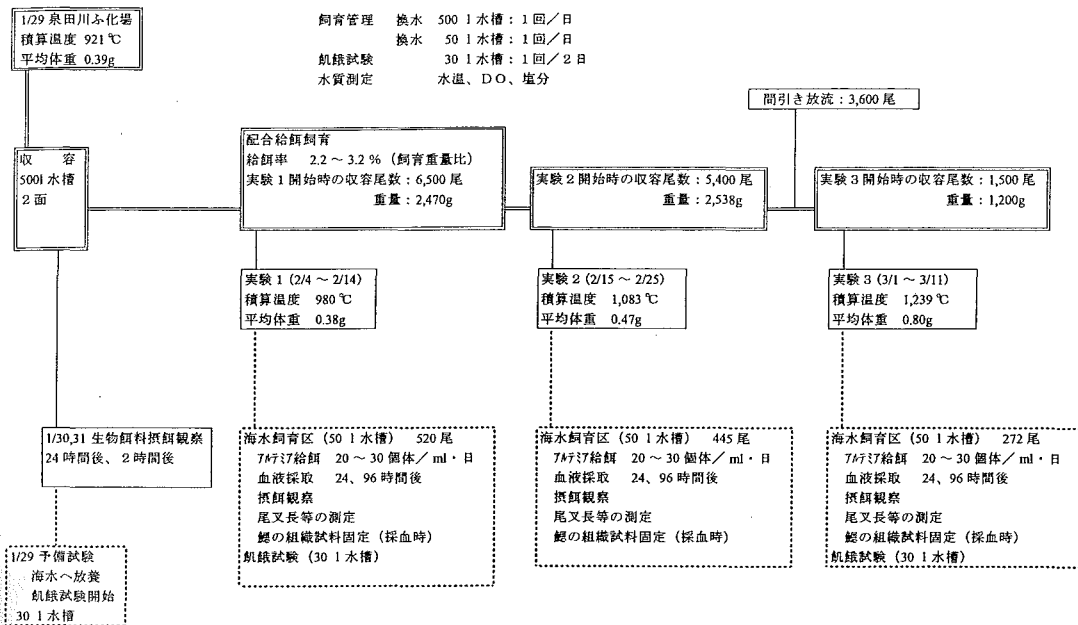


図4 さけ飼育稚魚の室内飼育経過と実験組立のフロー

結 果

1 室内実験

飼育期間中の淡水飼育区の水温は、8.0～11.6℃で平均9.6℃であった。なお、各実験での水温、DOについては、表1に示すとおりである。

表1 各実験区の水温・DO

実験	項 目	淡 水 区		海 水 区	
		淡 水 区	海 水 区	淡 水 区	海 水 区
実験 1	飼育水温範囲(℃)	10.1～8.0	11.2～8.3		
	平均水温(℃)	9.3	9.9		
	溶存酸素範囲(mg/l)	10.8～9.4	9.5～8.3		
	平均溶存酸素(mg/l)	10.1	8.8		
実験 2	飼育水温範囲(℃)	11.6～8.2	11.6～10.0		
	平均水温(℃)	9.4	10.7		
	溶存酸素範囲(mg/l)	11.0～7.8	9.5～7.9		
	平均溶存酸素(mg/l)	9.1	8.6		
実験 3	飼育水温範囲(℃)	11.6～9.0	13.0～10.0		
	平均水温(℃)	10.2	11.3		
	溶存酸素範囲(mg/l)	11.1～9.8	8.5～6.7		
	平均溶存酸素(mg/l)	10.5	8.0		

血清Naイオン濃度

Naイオン濃度は、実験1では24時間後に急激な低下がみられたが、96時間後には各実験とも140～149mmol/lの値であった。積算温度の小さい稚魚ほど急激な環境変化に伴い、生理的な影響を大きく受けている(表2、図6)。

表2 さけ稚魚室内実験の血清Na濃度測定値

単位: mmol/ℓ

	淡水区(開始時)	海水区24時間	海水区96時間	実験開始時の体重
実験1	133	105	140	0.38±0.04
実験2	108	157	144	0.47±0.06
実験3	156	161	149	0.80±0.10

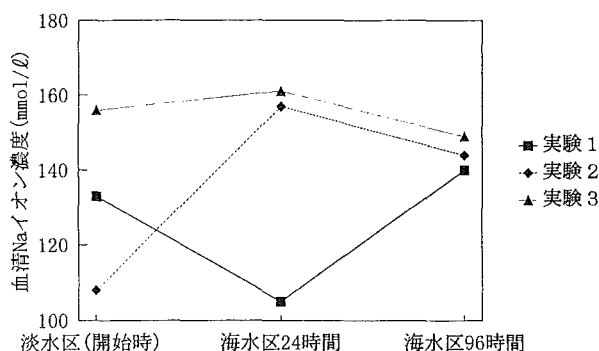


図5 さけ稚魚のサイズ別血清Na濃度の経時変化

海水移行後の生物餌料の摂餌状況

さけ稚魚は、浮上直前の稚魚(積算温度980℃)から海水への適応能力を有し、しかも生物餌料(アルテミア幼生)を活発に捕食していた。各実験区とも配合飼料に比べて遜色のない良好な成長を示した(図6、表3)。飼育規模、飼育密度が両区とも異なるので単純比較はできないが、実験1の0.38gサイズの稚魚(積算温度980℃)では、アルテミア幼生を餌料とした海水飼育区の方が配合給餌とした淡水飼育区より成長が早い傾向があり、実験終了時には、海水区の平均尾差長40.44mm、平均個体重0.67gに対し、淡水区は平均尾差長38.65mm、平均個体重0.54gとなった。さらに、実験1の海水区では、実験終了時に0.8gを超えている個体が3尾みられ、飼育10日で当県の河川への放流基準サイズまで成長し得ることが分かった。

また、積算温度別に飼育稚魚を海水へ放養し、同時に生物餌料を給餌した観察結果では、放養後10分以内に摂餌行動がみられ、2時間後に胃内容物を観察するとほぼ全個体がアルテミア幼生で飽食状態であった(図7)。

表3 室内実験結果(尾叉長、体重、肥満度、生残率)

			収容時	4日目	10日目	収容尾数	生残率(%)
尾叉長(mm)	実験1	淡水(配合区)	35.85	36.02	38.65		100
		海水(アルテミア区)	35.85	36.13	40.44	520	100
	実験2	淡水(配合区)	38.50	40.78	43.40		100
		海水(アルテミア区)	38.50	40.53	42.80	445	98
	実験3	淡水(配合区)	44.90	47.71	50.76		100
		海水(アルテミア区)	44.90	47.47	50.90	272	100
体重(g)	実験1	淡水(配合区)	0.38	0.34	0.54		
		海水(アルテミア区)	0.38	0.38	0.67		
	実験2	淡水(配合区)	0.47	0.67	0.88		
		海水(アルテミア区)	0.47	0.64	0.79		
	実験3	淡水(配合区)	0.80	1.14	1.28		
		海水(アルテミア区)	0.80	1.10	1.28		
肥満度	実験1	淡水(配合区)	8.28	7.28	9.39		
		海水(アルテミア区)	8.28	8.01	10.16		
	実験2	淡水(配合区)	8.18	9.79	10.77		
		海水(アルテミア区)	8.18	9.56	10.02		
	実験3	淡水(配合区)	8.84	10.51	9.74		
		海水(アルテミア区)	8.84	10.30	9.70		

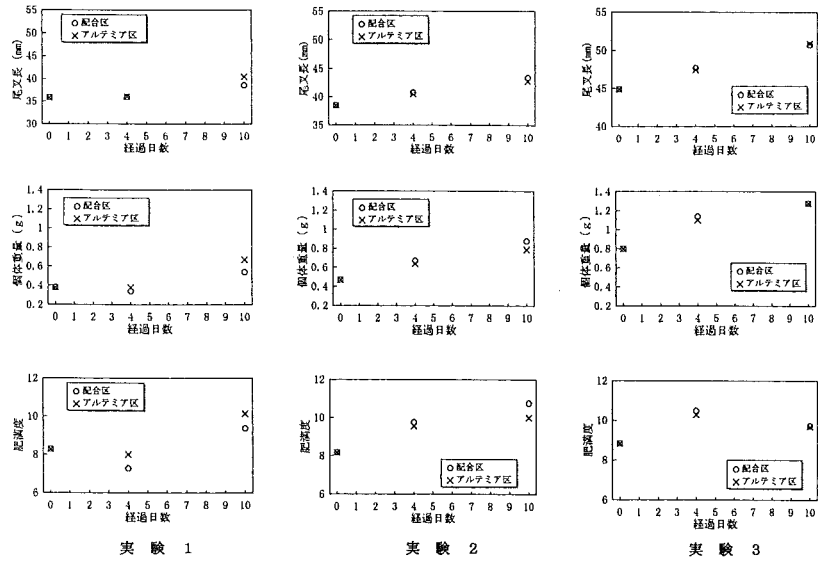


図6 各実験における稚魚の成長について

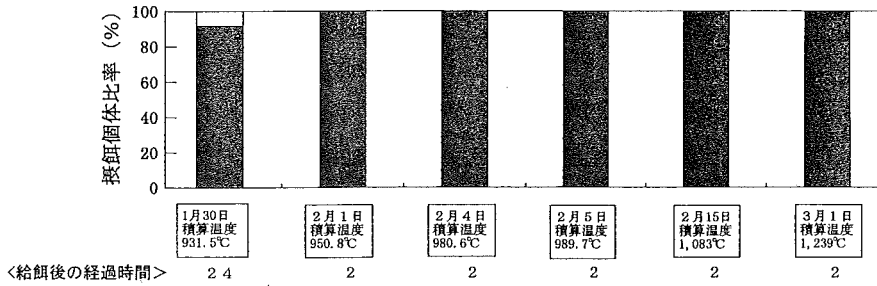


図7 積算水温別さけ稚魚の摂餌状況 (淡水飼育から海水へ移行後)

無給餌でのへい死状況

実験期間中の飼育水温、DOは表4に示す。

魚体サイズ別の飢餓耐性試験では、サイズによる生残状況に差がなく、各区とも淡水から海水へ移行後の15日前後からへい死がみられ30日前後で全滅した(図9)。

当场へ輸送した直後に実施した予備試験では、浮上直前の稚魚(積算温度921°C)でも海水に適応し、0.8gの稚魚と同程度の生残状況であった。

へい死魚の肥満度は、予備実験では4.38~6.11範囲にあり平均5.20、実験1では4.74~7.32にあり平均5.56であった。なお、実験3では、飢餓のため脊椎骨が極端に湾曲し測定不能となり、肥満度が求められなかった。

表4. 飢餓耐性試験の実験区の水温和DO

項目	予備実験	実験1	実験3
飼育水温範囲 (°C)	11.7~8.5	13.0~9.2	13.5~9.1
平均水温 (°C)	10.5	10.7	10.8
溶存酸素範囲 (mg/l)	9.9~7.9	10.0~8.1	9.4~7.5
平均溶存酸素 (mg/l)	9.1	9.0	8.5

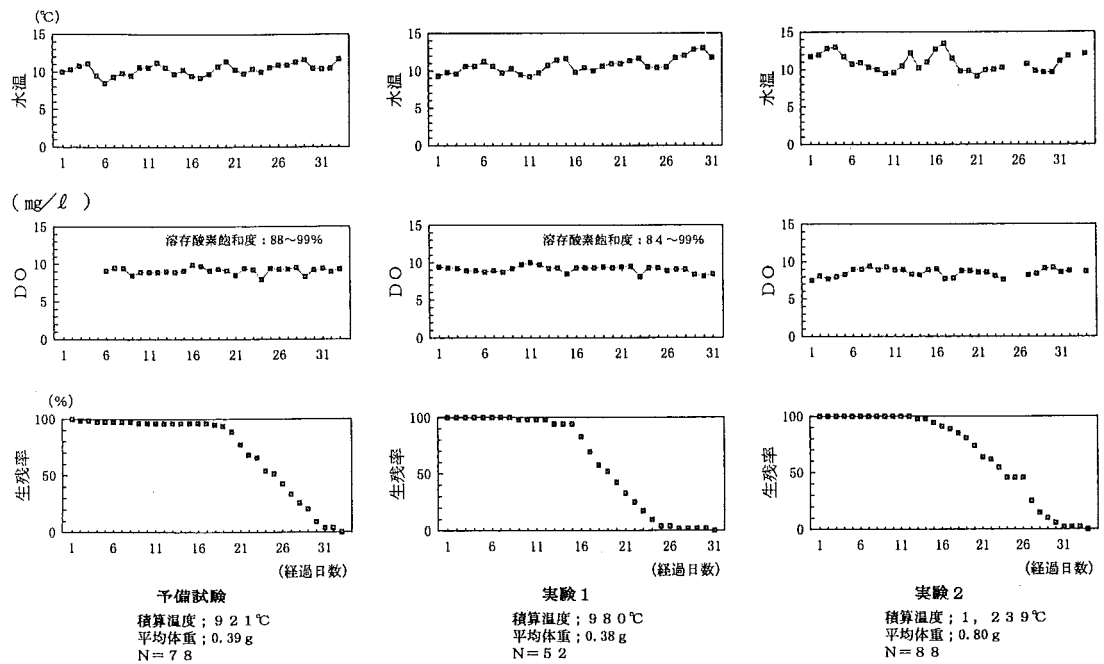


図8 飢餓耐性試験結果

2 放流河川の流程と水温

放流河川の稚魚放流位置から河口までの流程は、隣接する宮城県へ流入する阿武隈川は75kmと長距離であるが、他の本県沿岸に流入する11河川は0.3~3.5kmで、1km以下の河川が4河川となっている(表5)。

また、阿武隈川、宇多川、真野川、小高川、請戸川の一部の各ふ化場は、トラックで稚魚輸送し河川放流しているが、他の河川はふ化場の飼育池から水路を利用し直接放流している。

水質年報¹⁰⁾から1~3月の河川水温をみると、1月上旬は平均水温2.65~6.68°Cの範囲にあるが1°C以下の日も3河川で観測され、2月上旬は平均水温3.52~6.16°Cの範囲にあるが1°C以下の日も1河川でみられた。3月上旬は平均水温5.35~8.41°Cの範囲となり、外気温の上昇とともに水温が上昇している(表6)。

一方、松川浦湾口部の平均水温は1月上旬が8.28°Cで水温範囲が6.2~10.2°C、2月上旬が6.48°Cで水温範囲が5.1~8.6°C、3月上旬が7.05°Cで水温範囲が5.2~9.8°Cとなっており、2月上旬に最低水温を観測した。小名浜地先においては、外海の影響を受けている磯場の海水を揚水しているためか、松川浦より高めに水温が推移している。

表5 さけ稚魚放流場から河口までの流程距離

単位: km

河川名	流程距離(放流場所)	河川名	流程距離(放流場所)
阿武隈川	75.0 (大正橋付近)	熊川	0.4 (ふ化場放流)
宇多川	1.7 (松川浦まで)	富岡川	0.2 (ふ化場放流)
真野川	2.5 (築場)	井手川	0.3 (ふ化場放流)
新田川	1.0 (ふ化場放流)	木戸川	1.1 (ふ化場放流)
小高川	0.3 (河口直上)	夏井川	2.4 (ふ化場放流)
請戸川	1.7 (ふ化場放流)	鮫川	3.5 (ふ化場放流)
請戸川	3.4 (高瀬川橋)		

表6 さけ稚魚放流河川、松川浦、並びにいわき沿岸の旬別水温

区 分	(単位: °C)								
	1 上旬			2 上旬			3 上旬		
	平均	標準偏差	観測範囲	平均	標準偏差	観測範囲	平均	標準偏差	観測範囲
河川(*1)									
阿武隈川	2.65	1.08	0.5~4.2	3.52	0.83	2.0~5.0	5.35	1.29	2.0~5.0
宇多川	4.45	1.46	1.6~6.5	3.66	1.78	0.3~6.0	7.54	1.56	5.2~10.5
真野川	6.68	1.52	2.6~8.5	6.16	2.60	2.6~7.7	8.41	1.26	6.0~11.5
新田川	5.09	0.83	3.0~5.8	4.85	1.16	2.7~6.3	6.55	1.60	4.0~10.3
小高川	6.01	1.91	3.0~10.5	5.06	1.06	2.8~6.6	7.36	1.49	5.2~11.0
請戸川	4.75	2.48	1.0~9.7	4.80	1.20	3.2~7.0	6.55	2.10	3.8~10.2
熊川				4.37	1.50	2.1~6.0			
富岡川				5.12	1.48	1.5~6.9			
井出川				5.76	1.32	4.2~7.9			
木戸川	4.14	2.01	0.5~6.8	4.54	0.88	3.5~6.2	5.92	1.96	3.4~10.2
夏井川	3.13	1.81	0.2~6.5	4.41	1.78	2.0~8.8	4.99	1.26	3.2~7.0
鮫川	5.85	1.87	3.1~9.0	4.95	1.44	2.5~7.2	6.58	0.90	5.6~8.7
浦・海面(*2)									
松川浦湾口	8.28	1.04	6.2~10.2	6.48	0.55	5.1~8.6	7.05	0.74	5.2~9.8
小名浜地先	12.10	1.37	10.5~14.3	9.60	1.26	7.7~11.6	9.30	1.38	7.2~12.3

(*1): 水質年報より1988年~1997年までの10カ年について、月1回の観測水温を集計したもの。観測時刻は10:00~13:00。

(*2): 水産試験場と水産試験場相馬支場での観測水温 (1992年~1997年)。観測時刻は水産試験場が13:00、相馬支場が9:00。

考 察

さけ稚魚は、積算温度980°Cの0.39 gサイズの稚魚から生理的に海水適応能力を有しているが、血清Naイオン濃度の変化をみると環境変化に伴い大きな影響を受けていると言える。しかし、海水へ移行後にへい死する個体はなく、生物餌料への餌付きが極めてスムーズで、かつ比較的良好な成長がみられたことから、生態的にも海水適応能力を有していると言える。

さけ稚魚の海水適応能力については、水産庁さけ・ます資源管理センターの前身である水産庁北海道さけ・ますふ化場の本邦系さけ・ます資源管理対策研究事業結果報告書(1990~1993年)、中野(1985)らにより、多数の研究報告が出されており、浮上稚魚から体重20gサイズまで十分に海水へ適応できるとしている⁷⁻⁹⁾。

今回の実験でも同様な結果が得られたが、特筆すべきこととして積算温度980°Cの稚魚は生理的影響を大きく受けているにも拘わらず、海水へ移行直後10分以内に活発に生物餌料を捕食し、10日間の飼育で0.8 gサイズまで成長した個体が数尾みられたことにある。

帰山(1986)は、浮上時の稚魚は卵黄の残存エネルギー量が25~30%に相当し、それ以降外部からのエネルギー源(餌料)が得られない場合は体組織の拡大がほとんどみられないが、浮上時に直ちに摂餌を開始した場合は、体組織の拡大がみられると報告している⁸⁾。今回、海水区では生物餌料、淡水区では配合飼料を給餌したが、海水区では極めてスムーズに外部エネルギー源を吸収できたものと考えられる。

このことから、海水へ移行直後から活発に生物餌料を捕食するので、海面直接放流においては生物餌料が豊富なところであれば、0.38 gサイズの稚魚でも放流種苗になり得ることが示唆された。

さらに、飢餓によるへい死状況は稚魚サイズによる大きな差は見られなかったが、この原因としては、予備試験に供試した0.39 gサイズの稚魚は卵黄吸収が完全に終了していなかったため、残存卵黄により比較的生存率が高く推移したと考えられる。小林(1966)は、浮上するまでは卵黄をエネルギー源とし、流れの早い場所や水温の高い生息環境におかれた仔魚ほど吸収時間が短

縮され、浮上時のサイズは小型になると報告している¹⁰⁾。

伴(1996)らのさけ稚魚の絶食と再給餌がさけ幼魚に与える生理学的影響を調べた実験では、飢餓に至る過程には2つの段階があると報告している。第1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、この時点では絶食が魚の生残や海水適応能に与える影響はほとんどみられないとし、第2段階(絶食10~20日目)では、蓄積していた栄養が消費し尽くされて栄養源を筋肉等の体組織に転換し、この時点では体内の恒常性が乱れ、死亡個体が増加するとともに、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¹¹⁾。

当県のさけ稚魚については、石川らの飢餓実験でも同様な報告^{12, 13)}をしており、今回の実験結果も合致するものと考えられるが、0.39gサイズ(積算温度; 921°C)の稚魚は卵黄エネルギーが残存したため、0.38gサイズ(積算温度; 980°C)を上回る生残率の推移を辿ったものと考えられる。

現状のさけ稚魚放流は0.8gサイズで2~3月に放流されているが、同時期の放流河川の水温は日中(測定時刻: 10:00~13:00)で水温が0.3~11.5°Cの範囲で観測されており、夜間はさらに水温が低下するといった厳しい条件下で実施されている。

さけ稚魚の飼育水温については、好適な範囲としては4~12°Cされているが¹⁴⁾、2月の河川水温の変動は大きく、4°Cを下回る日は多くの河川で見られることから、早期(2月上旬以前)の稚魚放流は望ましいものとは考えられない。

また、当水試の調査報告では、河川内の稚魚追跡調査での胃内容物をみると、空胃または少量の生物餌料を捕食している結果となっている³⁾。この原因としては、当県の稚魚放流河川は河口までの流程が短く、かつ宇多川(松川浦)、鮫川を除き河口で稚魚が滞留できる広域の汽水域がないといった諸条件の中で、さけ稚魚が集中的に放流されていることから、餌料生物を河川内で捕食する機会が少ないことに起因していると予想される。

また、稚魚の沿岸分布調査では、沿岸で採捕された稚魚の胃内容物をみると空胃の個体が多く、湾内、漁港内に分布する稚魚は餌料捕食個体が高いとの調査結果が報告されている^{3, 8)}。さらに、帰山は、降下した稚魚の分布域と摂餌量について、放流稚魚は、河口やその周辺の低塩分域、又は波浪の影響の少ない湾奥部の海域に生息し、成長に伴って分布域を高塩分で外洋の影響を受ける海域に拡大するとし、その餌料の捕食状況をみると、低塩分で波浪の影響の少ない河口域や内湾域で生活する個体の胃内容量指数は外洋の影響を受ける海域に分布する個体より高く、後者に分布する稚魚には空胃個体が多くなる傾向があると報告している⁷⁾。

このような、放流場の諸条件について海面直接放流を考えると、水温は5.1~12.3°Cで昼夜安定し、港内、松川浦内での生物餌料遭遇の機会は大きいことが容易に想像され⁸⁾、河川に比べ放流時の初期条件は良いものと考えられる。

一方、さけ稚魚を捕食する外敵生物についてみると、本県の河川は流程が短く、かつ水深が浅いので、鳥類による捕食は河川の方が危険度が高いと推察される。また、捕食魚については、河川内では海面より遭遇機会、種類も少ないと考えられるが、放流された稚魚は、ほとんど成長しないで数日で海面へ降下するので、海面での危険度合いは両者とも同様であろう。また、宇多川を除き、河口付近の海面は直接外洋に面し、河口閉塞状況にあるため、十分な遊泳力のない稚魚は河口で波浪を直接受け、しばしば砂浜に打ち上げられる稚魚も多数観察されている。

以上のことから、著者らが想定したさけ稚魚の海面直接放流は、漁港内、松川浦内などの比較的平穏で、かつ餌料生物が河川より多く期待できる場所では初期減耗の軽減に期待が持たれるものと考えられる。今後、小型サイズの稚魚(餌付け前の稚魚)を数百万単位で放流実証試験を検討したい。

なお、海面直接放流により母川の記銘が薄れる危惧があるが、海面直接放流でもその海域を記

銘するので親魚として本県沿岸に來遊する状況は変わらず、海面漁業の振興に対する問題はない。
従って、従来の河川放流一辺倒方式から海面直接放流の導入等、本県の河口形状を加味したさ
け増殖事業の展開が必要であろう。

要 約

さけ稚魚は、積算温度980℃の0.38 gサイズの稚魚から生理的に海水適応能力を有しているが、
血清Naイオン濃度では環境の変化に伴い大きく変化している。しかし、その影響によって、へ
い死には至らない。

積算温度980℃の0.38 gサイズの稚魚を海水へ移行しても、放養後10分以内に生物餌料を活発
に捕食し、比較的良好な成長がみられることから、生態的にも海水適応能力を有している。

海水へ移行直後から活発に生物餌料を捕食することから、放流場においては生物餌料が豊富
なところであれば、0.38 gサイズの稚魚でも放流種苗になり得ることが示唆された。

飢餓によるへい死状況は稚魚サイズによる大きな差は見られなかったが、この原因としては、
0.39 gサイズの稚魚は卵黄吸収が完全に終了していなかったため、残存卵黄のエネルギーが関与
し、生残期間が伸びたものと考えられた。

本県の場合、放流場の餌料生物、水温条件等から河川と海面（松川浦内、漁港湾内）を比較す
ると、海面に有利性が見いだされる。

文 献

- 1) 福島県水産試験場：福島県のサケ増殖について、昭和54年3月、pp63.64、(1979).
- 2) 福島県水産試験場：沿岸水域調査報告書（さけ、ます稚魚河口通過観測事業報告書）、昭和
47年～昭和51年(1972～1976).
- 3) 福島県水産試験場：昭和54、56年度さけ資源増大対策調査報告書、(1979,1981).
- 4) 福島県水産試験場：昭和62～平成5年さけ資源増殖事業調査報告書、(1987～1993).
- 5) 福島県水産試験場：平成6～9年度さけ資源管理推進調査報告書、(1994～1997).
- 6) 福島県生活環境部環境指導課：昭和63年～平成9年度水質年報、(1989～1997).
- 7) 中野 広・安藤義秀・白幡総一郎：サケ稚魚の浸透圧調節能力について、北水研報(50)
pp87-92.(1985b).
- 8) 帰山雅秀：サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum)の初期生活に関する生態学的研究、さけ・
ますふ化場研報(33)、pp43-89.(1986).
- 9) 水産庁北海道さけ・ますふ化場：本邦系さけ・ます資源管理対策研究事業結果、第1期
(1990～1993)、pp7-137.(1994).
- 10) 小林哲男：サケ稚魚の生態調査概要、第3回さけ・ます増殖研究協議会議事録、pp56-61、
(1966).
- 11) 伴真俊・長谷川裕康・江連睦子：絶食と再給餌がさけ幼魚に与える生理学的影響、さけ・ま
すふ化場研報(50)、pp117-123.(1996).
- 12) 福島県水産種苗研究所：サケ健苗育成研究、平成元年度事業報告書、pp42-47.(1990).
- 13) 福島県水産種苗研究所：サケ稚魚の健苗について、昭和62年度事業報告書、pp60-70.(1988).
- 14) 水産庁北海道さけ・ますふ化場：サケ人工孵化放流事業、百問百答、pp116-118.(1993).
- 15) 福島県水産試験場：平成9年度さけ資源管理推進調査報告書、pp23-26.(1997).