網走湖におけるシラウオ卵の分布特性

隼野寛史,^{1*} 田村亮一,² 小出展久,¹
成基百,³ 工藤秀明,⁴ 帰山雅秀⁴

(2012年7月3日受付, 2012年10月30日受理)

¹(地独)北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場, ²(地独)北海道立総合研究機構栽培水産試験場,
³大韓民国国立水産科学院内水面養殖研究センター, ⁴北海道大学大学院水産科学研究院Distribution of icefish *Salangichthys microdon* eggs in Lake Abashiri, eastern Hokkaido, JapanHIROFUMI HAYANO,^{1*} RYOUICHI TAMURA,² NOBUHISA KOIDE,¹
KI BAIK SEONG,³ HIDEAKI KUDO⁴ AND MASAHIDE KAERIYAMA⁴¹Salmon and Fresh water Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Eniwa, Hokkaido 061–1433, ²Mariculture Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Muroran, Hokkaido 051–0013, Japan, ³Inland Aquaculture Research Center, National Fisheries Research and Development Institute, Changwon, Kyeongsangnam-do 645–806, Republic of Korea, ⁴Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041–8611, Japan

To investigate the distribution of ice fish *Salangichthys microdon* eggs, lines for survey at 11 locations were set on the shore of Lake Abashiri. Sediment s were collected by water depth on each of the survey lines to analyze the grain size and density of icefish eggs. Icefish eggs were distributed on sediment comprised of sand and gravel, and the egg density tended to be higher in the large grain size rather than the fine sand. However, there was a survey point where there were no eggs even though the sediment was medium sand. This suggests that factors such as water temperature and lake water level affect the egg distribution in addition to the sediment. There were few icefish eggs on the sediment where silt clay was predominant.

キーワード：網走湖, 産卵場, シラウオ, 底質, 粒度組成

シラウオ *Salangichthys microdon* はヤマトシジミ *Corbicula japonica* やワカサギ *Hypomesus nipponensis* とともに, 本邦汽水域における代表的な水産資源である。北海道東部オホーツク海沿岸に位置する網走湖はシラウオの主産地の一つであり, 道内最大の漁場となっているが, 網走湖産シラウオの生物学的知見は極めて少ない。これまでに耳石の微量元素分析¹⁾やフィールド調査²⁾により, 生活場所の移動, 成長, 産卵時期などが推定されているものの, 産卵場の分布とその環境については不明な点が多い。シラウオの産卵場は河川下流域や汽水湖内の浅場で, 砂礫の底質上に形成されることが高梁川,³⁾ 涸沼,⁴⁾ 宍道湖,⁵⁾ 石狩川,⁶⁾ 北浦,⁷⁾ 小川原湖⁸⁾において報告されている。また, 網走湖においても湖岸の浅場でシラウオ卵の分布が観察されているが,²⁾ 底質環境と卵分布との関係については明確になっていない。本研究で

は, 水深別に卵の分布と湖水の物理環境ならびに底質の粒度組成を調査し, 産卵場の分布と環境特性との関連性について検討した。

試料および方法

網走湖の概要 網走湖は北緯 43 度 58 分 0 秒, 東経 144 度 10 分 0 秒に位置し, オホーツク海沿岸の網走市と大空町にまたがる汽水湖である (Fig. 1)。北東—南西方向に長軸を持ち, 湖周長 44 km, 最大水深 16.1 m, 平均水深 7 m で, 周辺の能取湖, 藻琴湖, 涛沸湖などとともに海跡湖の一つである。主要な流入河川は網走川および女満別川で, 流出河川である網走川を通じてオホーツク海と繋がっている。本湖はかつて海水で満たされた入り江 (湾) であったものが地形変化によって湾口が塞がれ,⁹⁾ その後, 高鹹性, 中鹹性を経て, 1500～

Fig. 1 Map showing the study area in Lake Abashiri, eastern Hokkaido, Japan. Black lines indicate the location at which sediment was collected. The star shows the observation point of vertical changes in water temperature and salinity.

1300 年以前から現在のような低鹹性になったと考えられている。¹⁰⁾ 1926 年の調査では、網走湖は完全な淡水湖であったが、⁹⁾ 気候変動や地形変化にともなって再び海水が流入するようになり、1935 年以降は湖底に高塩分水が恒常的に貯留するようになった。¹¹⁾

網走湖の湖盆地形は湖心部に深く、流出口で急激に浅くなっているため、海水が一旦流入すると底層に永く滞留する。高塩分の下層水は低塩分の上層水と混合することなく、慢性的に密度躍層を形成するため、湖水は年間を通じて鉛直的に堅固な 2 層構造を呈している。¹²⁾ また、下層水は嫌氣的で、生物に有害な硫化水素を多量に含むため、¹³⁾ 漁場内に侵入すると漁業資源や好気性生物に深刻な被害を及ぼす。¹⁴⁾ そのため、河川管理者は上層水と下層水との境界層（以下、塩淡水境界層と記す）の水深を常時監視している。塩淡水境界層の水深は無風状態（0～2 m/sec）の時には、湖全域でほぼ水平に保たれ、場所による変動は見られない。しかし、風が吹くとその形態を保持したまま全体的に傾くため、弱風（3～5 m/sec）時には約 1 m、強風（6～10 m/sec）時には約 3 m、風上側の沿岸部で上昇する。¹⁵⁾

湖水の溶存酸素は結氷期を除いて、表層から塩淡水境界層までほぼ一様に分布するが、塩淡水境界層で急激に低下し、¹³⁾ 下層は無酸素である。なお、塩淡水境界層とは塩分

10 に達する躍層の位置を示している。¹⁶⁾

塩淡水境界層水深の把握 2001～2003 年の各年 5～8 月に網走湖の最深部において（Fig. 1）、塩淡水境界層水深の観測を行った。観測にはアレック電子社製メモリー式 STD（Model-AST-1000S）を使用し、表層から湖底まで 20 cm 間隔で塩分ならびに水温を観測した。

シラウオ卵の採集 網走湖におけるシラウオの産卵期は、親魚の出現時期、生殖腺重量指数の経時変化および仔魚の出現時期から 5 月下旬～7 月中旬と考えられる。²⁾ そこで、2001～2003 年の各年 6 月に、網走湖の沿岸域一体をほぼ等間隔で網羅するように 11 か所の調査ラインを設定し、各ライン上の水深 1, 2, 3 m の合計 33 調査定点でシラウオ卵を採集した（Fig. 1）。卵の採集には採泥面積 0.05 m² のスミス・マッキンタイヤ型採泥器を使用し、各定点で船上から採泥場所を変えながら 2 回ずつ底泥を採取した。採泥前に湖底直上の溶存酸素を YSI 社製ポータブル DO メータ（Model-58）により測定するとともに、アレック電子社製ポータブル水温塩分計（Model-ACT20-D）を用いて塩分ならびに水温を観測した。

1 回目に採取した底泥は 5% 中性ホルマリン溶液で固定して実験室へ持ち帰り、シラウオ卵計数用の試料とした。2 回目に採取した底泥は表層から深度約 3 cm までをプラスチック製容器に収容し、粒度分析に供するまで -30℃ の冷凍庫内で保存した。なお、ライン 5 およびライン 10 の付近では、各年において補足的に水深 4～5 m 地点においても卵計数用の採泥を行った。

卵計数用の試料は調査定点毎に水で静かに泥を洗い流しながら、目合いが 2 mm と 0.125 mm のふるいにかけた。その際、卵を潰さないように注意しながら、砂礫から卵が分離するように水中で試料を静かに攪拌した。目合い 0.125 mm のふるいに残った試料を飽和塩化亜鉛水溶液に浸漬して、比重差によりさらに分割した。浮上した比重の小さな分画から実体顕微鏡下でシラウオ卵を選別し、計数して各定点の卵分布密度（粒/m²）を求めた。比重差による分割作業は予め一部の試料により、沈降した分画中にシラウオ卵が含まれてないことを確認した上で行った。黒田¹⁷⁾ によると網走湖には 21 種の魚類が生息し、本研究においてその卵が採取される可能性が考えられるのは、シラウオ、ワカサギ、キュウリウオ *Osmerus mordax dentex* およびハゼ科 Gobiidae の数種である。シラウオ卵の同定は他種にはない、卵門から放射状にのびる纏絡糸の存在を確認することによって行った。¹⁸⁾

底質の粒度分析 粒度分析は湿式ふるい分け法により行った。すなわち、調査定点毎の底質試料をそれぞれ目合い 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125 および 0.063 mm のふるいを用いて分割し、乾燥後、各階級の重量比を基準に粒度組

成を求めた。これにより、底質を構成する粒径成分は細礫 (2 mm 超過), 極粗粒砂 (2.00~1.00 mm), 粗粒砂 (1.00~0.50 mm), 中粒砂 (0.50~0.25 mm), 細粒砂 (0.25~0.125 mm), 極細粒砂 (0.125~0.063 mm) およびシルト・粘土 (0.063 mm 未満) の7階級となる。得られた粒度組成データを基に、定点毎に粒径加積曲線を作成し、重量百分率が50%になる階級 (以下、有効粒径 D_{50} と記す) をそれぞれの底質における代表的な粒径とした。

2001~2003年までの粒度組成データを合わせてクラスター分析を行い、各調査定点の底質を分類した。クラスター分析は粒度組成データを基に平方ユークリッド距離を求め、Ward法により連結したデンドログラムを作成することによって行った (SPSS ver. 15.0 J for Windows, SPSS Japan Inc.)。各グループの有効粒径 D_{50} はグループを構成する調査定点の粒度組成データを平均して求め、これを各グループにおける代表的な粒径とした。

統計解析 各グループの卵分布密度は、グループ間における差の有無について Kruskal-Wallis test により検定を行うとともに、すべての2グループの組合せについて Bonferroni 法に基づいて危険率を調整の上、Mann-Whitney test によって有意差の有無を調べた。

なお、この際に資源豊度に基づく卵採集数の偏りを排除するため、卵分布密度の比較には各年の総採集数に対する相対頻度に換算した値 (以下、卵密度指数と記す) を用いた。これらの検定は統計解析ソフト (SPSS ver. 15.0 J for Windows, SPSS Japan Inc.) を用いて行った。

結 果

塩淡水境界層水深 塩淡水境界層水深は、2001年の5~8月において4.0~5.0 m, 2002年の5~7月において4.6~5.0 m, 2003年の5~8月において4.4~4.8 mに位置していた (Fig. 2)。2001年および2002年では、6月の塩淡水境界層水深が5月に比べて20~60 cm上昇した。上層の塩分は2001年の5~8月で1.84~2.10, 2002年の5~7月で2.05~2.75, 2003年の5~8月で1.46~3.21の範囲にあった。水温は上層で大きく変動し、表層水温が2001年の5~8月において13.8~22.7°C, 2002年の5~7月において15.7~20.9°C, 2003年の5~8月において9.2~21.6°Cまで変動した。

卵採集時における湖水の物理環境 卵採集時における湖底直上の水温、塩分、溶存酸素量ならびに卵分布密度を Table 1 に示した。水温は、2001年が13.3~18.0°C, 2002年が16.4~17.4°C, 2003年が16.5~21.3°Cであっ

Fig. 2 Vertical changes in water temperature and salinity at the center of Lake Abashiri from May to July or August of the years 2001-2003.

た。塩分は、2001年が0.82~2.31, 2002年が1.25~2.26, 2003年が2.54~3.02の範囲にあった。溶存酸素は、2001年が8.1~16.2 mg/L, 2002年が7.9~12.7 mg/L, 2003年が5.4~12.5 mg/Lの範囲にあった。卵分布密度の平均値は2001年が139粒/m², 2002年が435粒/m², 2003年が267粒/m²であった。なお、調査時の網走市の天候は何れも快晴で、風速は1.4~1.6 m/secの範囲にあり、ほぼ無風状態であった（気象庁ホームページ, <http://www.jma.go.jp/jma/>）。

2001~2003年において卵が採集された調査定点を対象として、湖水の物理環境と卵密度指数（%）との関係についてそれぞれ調べた。その結果、水温（Spearman's $r_s = -0.346$, $df = 30$, $P = 0.052$ ）、塩分（Spearman's $r_s = -0.115$, $df = 30$, $P = 0.531$ ）および溶存酸素量（Spearman's $r_s = 0.046$, $df = 51$, $P = 0.744$ ）との間には、何れも有意な関係は認められなかった。また、調査水深との間にも有意な関係は認められなかった（Spearman's $r_s = 0.010$, $df = 41$, $P = 0.947$ ）。しかし、卵が発見されなかった定点の割合（卵未発見の定点数/調査定点数×100）は、水深1 mが55%, 水深2 mが45%, 水深3 mが39%で、浅くなるほど高かった。なお、ライン5およびライン10の付近では、補足的に水深4~5 m地点においても採泥を行ったが、何れの年においてもシラウオ卵は発見されなかった。

卵分布と底質の粒度組成 2001年では、ライン9の1 mならびにライン11の2 mにおいて極めて高密度に卵が分布していた。また、ライン3, ライン6, ライン7およびライン8では、すべての水深において卵は採集されなかった（Table 1）。これらの底質における有効粒径 D_{50} は、ライン11の2 mが粗粒砂、ライン9の1 mおよびライン6の2 mが中粒砂、ライン6の1 mおよび3 m, ライン3の全水深、ライン8の全水深が細粒砂であった。ライン7では1 mが中粒砂、2 mおよび3 mがシルト・粘土であった（Fig. 3）。

2002年では、ライン11の2 m, ライン5およびライン10の全水深でシラウオ卵が極めて高密度に分布した。また、ライン3およびライン7では、すべての水深で卵は採集されなかった（Table 1）。これらの底質における有効粒径 D_{50} は、ライン11の2 mが細礫、ライン5およびライン10の全水深が中粒砂、ライン3の1 mおよび2 mが細粒砂、ライン3の3 mが極細粒砂であった。ライン7では1 mが中粒砂、2 mおよび3 mがシルト・粘土であった（Fig. 3）。

2003年では、ライン8の3 m, ライン11の2 mおよび3 m, ライン10の2 m, ライン5の3 mにおいて卵が極めて高密度に分布した。また、ライン3ならびにライン7では、すべての水深において卵は採集されなかった（Table 1）。これらの底質における有効粒径 D_{50}

はライン11の2 mが細礫、ライン11の3 m, ライン5の全水深、ライン8の3 m, ライン10の全水深が中粒砂、ライン3の1 mおよび2 mが細粒砂、ライン3の3 mが極細粒砂であった。ライン7では1 mが中粒砂、2 mおよび3 mがシルト・粘土であった（Fig. 3）。

調査を行った3年間を通じて、ライン11の2 mおよび3 mでは常に多くの卵が採集された。また、ライン3および7では何れの水深においても卵は採集されなかった。

2001~2003年の粒度組成データを合わせてクラスター分析を行った結果、底質はA~Fの6グループに分類された（Fig. 3）。各グループにおける有効粒径 D_{50} はグループAおよびグループEが中粒砂、グループBが細礫、グループCおよびグループDが細粒砂、グループFがシルト・粘土であった。但し、グループEはグループAに比べ、中粒砂よりも大きな粒径成分の含有率が高い特徴が見られた。また、グループDはグループCに比べ、細粒砂よりも大きな粒径成分の含有率が高く、かつ、極細粒砂およびシルト・粘土の含有率が低い特徴が見られた。

各グループにおける卵密度指数（%）の平均値（標本数）は、グループAが4.2% ($n = 31$), グループBが15.6% ($n = 3$), グループCが0.0% ($n = 10$), グループDが1.5% ($n = 35$), グループEが7.0% ($n = 10$), グループFが0.2% ($n = 10$)であった。卵密度指数のグループ間における差の有無について検定を行ったところ、有意差（Kruskal-Wallis test, $df = 5$, $P < 0.001$ ）が認められた。そこで、A~Fのすべての2グループの組合せについて、Bonferroni法に基づいて有意水準を調整し（ $\alpha = 0.003$ ）、Mann-Whitney testによりグループ間の差について検定を行ったところ、グループAはグループCならびにグループFよりも有意（ $P < 0.001$ ）ならびに $P = 0.001$ ）に卵密度指数が高いことが示された。

2001~2003年の粒度組成データを基に、各粒径成分の含有量（%）と卵密度指数（%）との相関を調べたところ（Fig. 4）、中粒砂よりも大きな粒径成分との間には何れも正の関係、細粒砂よりも小さな粒径成分との間には何れも負の関係が認められた。また、前者では含有量が多ければ卵分布も多い傾向を示す一方で、他方では卵の分布しない定点も多く見られるのに対して、後者では、含有量が多ければ全く卵が分布しないことが示された。

考 察

本研究では網走湖におけるシラウオ卵の分布と湖水の物理環境ならびに底質の粒度組成との関係を明らかにし、産卵場の形成と環境との関連性について検討した。

産卵場における底質に関して、網走湖ではシラウオ卵

Table 1 Icefish *Salangichthys microdon* eggs sampling data collected in Lake Abashiri in 2001–2003

Line No.	Depth (m)	15 June 2001			5 June 2002			11 June 2003								
		Environment		Icefish eggs	Environment		Icefish eggs	Environment		Icefish eggs						
		Water temperature (°C)	Salinity		Dissolved oxygen (mg/L)	Density index (inds./m ²)		Density index (%)	Water temperature (°C)		Salinity	Dissolved oxygen (mg/L)	Density index (inds./m ²)	Density index (%)		
L1	1			11.8	165	3.6			9.1	0	0.0	19.3	2.84	6.6	0	0.0
	2	18.0	2.24	11.9	0	0.0			9.0	0	0.0	17.6	2.84	6.4	145	1.6
	3			8.1	248	5.4		17.4	2.13	8.9	434	3.0	17.3	2.84	5.4	207
L2	1			9.8	0	0.0			9.3	331	2.3	20.4	2.81	9.9	0	0.0
	2	16.1	2.24	9.3	41	0.9			8.0	62	0.4	18.6	2.82	9.6	0	0.0
	3			9.8	62	1.4		16.8	2.22	8.5	0	0.0	18.3	2.82	11.3	21
L3	1			12.9	0	0.0			9.6	0	0.0	20.0	2.83	10.2	0	0.0
	2	15.9	2.31	12.4	0	0.0			9.8	0	0.0	0.0	19.0	2.84	7.8	0.0
	3			11.6	0	0.0		16.8	2.26	9.7	0	0.0	18.0	2.86	9.1	0
L4	1			11.6	165	3.6			9.9	0	0.0	21.3	2.79	10.4	0	0.0
	2	15.8	2.22	11.0	207	4.5			9.4	83	0.6	18.5	2.81	8.6	83	0.9
	3			10.6	0	0.0		16.9	2.21	8.4	558	3.9	17.8	2.83	7.4	475
L5	1			13.4	41	0.9			11.8	785	5.5	17.7	2.73	10.7	145	1.6
	2	14.5	1.71	10.9	124	2.7			9.8	1,777	12.4	17.7	2.74	10.8	165	1.9
	3			8.2	0	0.0		16.4	1.84	9.5	2,789	19.5	17.7	2.74	11.0	909
L6	1			14.7	0	0.0			12.1	21	0.1	18.8	2.55	11.8	0	0.0
	2	14.7	1.74	10.5	0	0.0			11.0	0	0.0	17.8	2.61	8.5	393	4.4
	3			9.9	0	0.0		16.0	1.54	9.9	0	0.0	17.7	2.70	10.5	21
L7	1			16.2	0	0.0			12.7	0	0.0	18.3	2.54	12.5	0	0.0
	2	13.3	0.82	12.0	0	0.0			11.7	0	0.0	16.7	2.84	6.6	0	0.0
	3			8.8	0	0.0		16.8	1.25	9.5	0	0.0	16.5	3.02	6.6	0
L8	1			11.8	0	0.0			9.4	41	0.3	16.7	2.82	9.5	0	0.0
	2	15.6	2.18	11.8	0	0.0			9.5	0	0.0	17.1	2.88	9.6	165	1.9
	3			10.3	0	0.0		16.8	1.90	8.9	455	3.2	17.0	2.89	7.6	2,045
L9	1			13.2	1,756	38.3			9.6	62	0.4	18.1	2.88	9.6	145	1.6
	2	16.5	2.01	12.8	0	0.0			7.9	21	0.1	17.5	2.89	9.2	41	0.5
	3			9.5	0	0.0		16.8	1.97	9.8	21	0.1	17.3	2.89	9.8	165
L10	1			11.4	103	2.3			9.8	393	2.7	18.7	2.84	10.7	124	1.4
	2	16.2	2.15	12.4	0	0.0			9.6	971	6.8	17.6	2.85	10.4	1,033	11.7
	3			11.7	41	0.9		16.7	2.19	8.7	331	2.3	17.9	2.83	11.1	248
L11	1			11.0	0	0.0			9.3	0	0.0	19.0	2.85	9.3	21	0.2
	2	16.7	2.15	11.7	1,116	24.3			8.5	4,897	34.1	17.3	2.84	9.3	847	9.6
	3			10.4	517	11.3		16.9	2.19	9.3	310	2.2	16.9	2.85	9.8	1,426

Fig. 3 Dendrogram of cluster analysis by Ward's method based on grain size of benthic area in Lake Abashiri from 2001 to 2003. Bar charts indicate the grain size composition of sediment at each survey point classified into six groups.

Fig. 4 Relationships between density index (%) of icefish *Salangichthys microdon* eggs and content (%) of each grain class of sediment.

は細粒砂から細礫に至る粒径成分が主体となっている底質上で発見され、シルト・粘土が優占する底質においては卵の分布は認められなかった。これらは潟沼、⁴⁾ 宍道湖、⁵⁾ 石狩川、⁶⁾ 小川原湖、⁸⁾ および北浦⁷⁾ において観察された結果と概ね一致している。しかし、粒度組成により分類されたグループ間の比較に基づいて、粒径と卵分布との関係を詳細に分析すると、細粒砂主体の底質から発見された卵は極僅かであり、卵分布の中心は中粒砂かそれよりも大きな粒径成分が優占する底質であることが明らかとなった。これは、シラウオ卵が卵径の1/3から同大の砂粒に産み付けられるとした千田³⁾の報告とよく一致している。同じシラウオ科魚類であるアリアケシラウオ *Salanx ariakensis* やアリアケヒメシラウオ *Neosalanx reganius* においても、卵は粗粒砂以上の粒径で構成される砂礫底から多く出現することが報告されて

いる。¹⁹⁾ また、イシカワシラウオ *Salangichthys ishikawae* でも、多くの卵は粒径0.42~0.84 mmの粗砂において発見され、0.177~0.250 mmの細砂やシルトでは採集されなかったことが報告されている。そして、このような粒径の大きな底質に卵を付着させる要因として、波浪などで巻きあげられて減耗する危険を防いでいるものと考えられている。²⁰⁾

網走湖において、底質が中粒砂から細礫主体となっている地点は西岸側で多く見られ、また、東岸側の一部でも認められた。特に、3年間を通じて常に多くの卵が発見された西岸のライン11では、隣接するリヤウシ湖から900~5,000 m³/dayの湧水が流入しており、²¹⁾ このことが良好な底質環境と高い卵分布密度の維持に寄与しているものと考えられた。一方、3年間を通じて一度も卵が発見されなかった定点は網走川流入部の女満別湾内と網走川流出部付近に集中しており、これらの地点では底質のシルト・粘土含有量が多く、このことが卵の分布しない要因になっているものと考えられる。しかしながら、底質が中粒砂主体であっても卵が分布しない定点も見られたことから、底質の粒径以外にも、産卵場の形成に影響を及ぼす何らかの要因があるものと考えられる。

卵採集時の水温に関して、千田³⁾は高梁川においてシラウオの産卵場を発見した際の底質水温は10℃前後であったことを報告している。同様に、宍道湖では4.7~9.5℃、⁵⁾ 小川原湖では15~17℃、⁸⁾ 石狩川では12.66~18.09℃であった。²²⁾ これらと比較すると、本研究で観測された水温は変動が大きく、上限値も高かった。網走湖では融雪の影響が残る5月から初夏の7月にかけては、水温が急激に上昇する時期である。¹⁶⁾ また、晴天時には日周変動も大きくなることから、これらの特性が本研究において、調査時期あるいは調査時間の違いに基づく水温差として反映されたものと考えられる。一方、水深別に水温観測を行った2003年の結果を見ると、水深が浅くなるほど高温になる傾向が見られ、一部のラインでは水深1 mの水温が20℃を超えていた。丹下²³⁾は飼育実験によってシラウオの孵化と水温との関係を明らかにしており、正常な孵化が観察された水温は4.8~20.0℃、高水温の致死限界が23~24℃にあることを報告している。この関係に従うならば、網走湖の水深1 m地点における水温は、シラウオ卵の致死限界付近にまで昇温する危険性のあることを示唆している。

シラウオの産卵場が形成される水深に関して、潟沼や小川原湖において最も多くの卵が採集されたのは、水深0.5 mあるいは水深1 mの波打ち際であった。^{4,8)} そして、このような浅瀬でシラウオが産卵する理由として、産卵行動中の捕食者からの回避、波や小波の連続的な水の動きによる卵の洗浄作用ならびに窒息からの危険回避の面で、それ以深よりも有利である点が指摘されてい

る。⁴⁾ 一方、本研究では、水深1～3 mの範囲内で水深と卵分布密度との間に明瞭な関係は認められなかった。また、卵が発見されなかった定点は他水域とは逆に、水深1 mで最も多かったことから、網走湖の場合には、前述した浅場の水温特性が産卵場の形成に影響を及ぼしている可能性が考えられる。換言すれば、本来、シラウオは水深1 m以浅の浅瀬で産卵するが、網走湖においては水温の上昇が制限要因となり、結果的に水深2～3 mにおいても産卵が行われていると考えられるかもしれない。但し、水深1 mであっても多くの卵が発見された定点も存在することから、今後、網走湖におけるシラウオの孵化と水温との関係についても明らかにする必要があると考えられる。水深4～5 m地点においても卵は発見されなかったが、これには下層水の影響が考えられる。本研究では溶存酸素量の具体的なデータは得られていないが、水深4～5 mには塩淡水境界層の存在が観察されていることから、貧酸素の影響を強く受けていたことがうかがわれる。

また、網走湖の場合には、産卵場の形成に関連する要因として浅瀬における水位変動の影響も考えられる。本研究において、塩淡水境界層水深には6月以降で20～60 cmの上昇が認められ、このことは湖水位の低下を示していると考えられる。網走湖の塩淡水境界層水深は、湖水位の変化にともなって季節的に変動することが知られている。例えば、淡水流入量が減少する渇水期では、湖水位が低下し、それにともなって海水の逆流が容易となるため、結果的に塩淡水境界層の水深は上昇する。また、多量の淡水が湖内に流入する融雪期や台風時期には、下層の塩水が淡水とともに湖外へ吐き出されるため、塩淡水境界層の水深は一時的に低下する。²⁴⁾ そして、海水の逆流は、湖水面が最も低くなる6～7月と12～1月に起こりやすい。¹⁷⁾ 従って、シラウオの産卵から孵化に至る時期は、このように湖水位が大きく変化する時期とも重なっていることから、²⁾ 何らかの影響を受ける可能性が考えられる。具体的には、水位低下にともなって卵が干出する危険などが推察される。

現在、シラウオの人工孵化は実験的には可能であるものの、²⁵⁾ 事業化できる段階にはない。従って、シラウオ資源を持続的に利用して行くためには自然再生産の維持が前提となるため、今後、適切な産卵環境の維持と保全へ向けた研究が必要である。

謝 辞

本研究において、すべてのフィールド調査へのご協力を賜った西網走漁業協同組合の川尻敏文指導課長に厚く御礼申し上げます。また、有益なご助言と調査へのご協力を頂いた網走市水産漁港課の皆様にご感謝の意を表す。本研究を遂行するにあたり、様々な便宜を図っていただ

いた元北海道立水産孵化場資源管理部長の小島 博氏、同場長の河村 博博士に感謝申し上げる。研究全般にわたり多くのご教示を賜った北海道立総合研究機構さけ・ます内水面水産試験場長の永田光博博士に謹んで謝意を表す。本稿に対して、有益なご指摘とご助言をいただいた2名の査読者と編集委員に感謝申し上げます。本研究の一部は韓国国立水産科学院（親環境畑生態養殖研究費 RP-2012-RE-001）の支援を受けて実施された。

文 献

- 1) Arai T, Hayano H, Asami H, Miyazaki N. Coexistence of anadromous and lacustrine life histories of the shirauo, *Salangichthys microdon*. *Fish. Oceanogr.* 2003; **12**: 134–139.
- 2) 隼野寛史. 網走湖産シラウオの生活史研究の現状. 魚と水 2001; **38**: 75–83.
- 3) 千田哲資. 岡山県高梁川におけるシラウオの産卵場. 魚雑 1973; **20**: 25–28.
- 4) Saruwatari T. Studies on the reproductive biology of Japanese Salangid fishes. Ph.D. Thesis, University of Tokyo, Tokyo. 1988.
- 5) 藤川裕司, 江角陽司, 大北晋也. 宍道湖におけるワカサギ, シラウオ卵の出現特性. 平成15年度島根県内水面水産試験場事業報告 2005; 39–44.
- 6) 山口幹人. 石狩川水系のシラウオ産卵場を発見. 北水試だより 1994; **27**: 40–42.
- 7) 富永 敦. 北浦潮来地先における1980年頃と2007年のワカサギとシラウオ産卵状況の比較. 茨城内水試研報 2009; **42**: 15–19.
- 8) 榊 昌文, 片山知史, 鶴ヶ崎昭彦, 沼辺啓市. 小川原湖におけるシラウオの産卵場. 水産増殖 2008; **56**: 139–140.
- 9) 高安三次, 飛島貫治. 湖沼調査. 第4編 網走湖(昭和4年)調査. 水産調査報告 1930; **22**: 1–53.
- 10) 湊 正雄, 北川芳男. 海岸湖の鹹度の変化. 陸水雑 1955; **17**: 1–3.
- 11) 中尾欣四朗. 湖環境の変動機構. 陸水雑 1988; **49**: 293–301.
- 12) 大槻知寛, 多田匡秀. 網走湖の環境について. 北水試だより 1993; **23**: 1–8.
- 13) 三上英敏. 網走湖の陸水学的特徴と長期的環境変化. 湖沼環境の変遷と保全に向けた展望(高村典子編). 国立環境研報 2000; **153**: 5–33.
- 14) 田村亮一. 網走湖のヤマトシジミ資源—最近の動向について—. 試験研究は今. No. 565. 2006.
- 15) 池永 均, 向山公人, 大島伸介, 内島邦秀, 山田 正. 汽水湖成層界面の挙動と吹送循環流の形成に関する研究. 土木学会論文集 1999; **614**: 77–96.
- 16) 北海道開発局網走開発建設部. 網走湖の良好な水環境をめざして. 2010.
- 17) 黒田久仁男. 昭和42年網走湖の現況について. 北海道立網走水産試験場, 網走. 1967.
- 18) 脇谷洋次朗, 高橋仁助. 日本産シラウオ. 動物学雑誌 1913; **25**: 551–555.
- 19) 水谷 宏, 松井誠一. 有明海に固有な絶滅危惧種, アリアケシラウオとアリアケヒメシラウオの生態. 「魚類環境生態学入門」溪流から深海まで, 魚と棲みかのインターアクション(猿渡敏郎編著) 東海大学出版会, 東京. 2006; 134–152.
- 20) 秋元義正, 鈴木 馨, 遠藤克彦. 福島県太平洋岸におけ

- るイシカワシラウオの産卵. 水産増殖 1990; **38**: 337-342.
- 21) 福富孝治, 藤木正美, 須川 明, 中尾欣四郎, 和田昭夫, 小林大二, 北原義章. 12. リヤウシ湖および付近地下水の地球物理学的調査. 北海道大学地球物理学研究報告 1964; **12**: 137-162.
- 22) 山口幹人. 石狩川下流域および沿岸域に分布するシラウオの資源生態学的研究. 北水試研報 2006; **70**: 1-72.
- 23) 丹下勝義. シラウオのふ化飼育試験—II 水温とふ化との関係について. 水産増殖 1968; **16**: 81-86.
- 24) 池永 均, 山田 正, 内島邦秀, 向山公人, 平野道夫, 井出康郎. 網走湖における吹送流の発生と成層界面の挙動に関する研究. 水工学論文集 1997; **41**: 481-488.
- 25) 丹下勝義, 竹田文弥. シラウオのふ化飼育試験—III 塩分とふ化との関係. 昭和43年度兵庫県立水産試験場報告 1968; 128-129.