

## ワカサギ孵化仔魚の絶食耐性および網走湖流入河川からの流下生態

虎尾 充

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

Starvation limits of newly hatched larvae of wakasagi, *Hypomesus nipponensis*, and their downstream migration to Lake Abashiri

MITSURU TORAO

Hokkaido Research Organization, Doto Research Branch, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Nakashibetsu, Hokkaido 086-1164, Japan

After hatching in the rivers flowing into Lake Abashiri, it is vital for the survival of Wakasagi (*Hypomesus nipponensis*) larvae to arrive at Lake Abashiri with yolk storages. The present study aims to estimate the time required for the newly hatched larvae of wakasagi to arrive at Lake Abashiri. Yolk absorption and starvation tolerance were examined in the reared yolk-sac larvae, and sampling surveys of drifting larvae were conducted at the inflowing river. Newly hatched larvae completed yolk absorption by six days after hatching at 13°C. The point-of-no-return (PNR) of yolk-sac larvae was found by the five day mark. The results of a 24-hour sampling survey for the drifting larvae show the larvae hatched just after sunset and immediately migrated to Lake Abashiri. Judging from the yolk volume of these larvae, the time required to reach the lake was estimated to be from 0-1 day after hatching. Newly hatched wakasagi larvae are considered to have sufficient yolk volume for starvation tolerance at the time of entering the lake, even though arrival and first feeding at the lake are required within four days of hatching for survival.

キーワード： *Hypomesus nipponensis*, 網走湖, 仔魚, 絶食耐性, 孵化仔魚, 卵黄吸収, 流下流入河川, ワカサギ

ワカサギ *Hypomesus nipponensis* は、北海道および本州の利根川以北と鳥根県以北の河川湖沼、内湾や沿岸に自然分布する冷水性の遡河回遊魚である（白石, 1961; 濱田, 1980; Saruwatari *et al.*, 1997）。環境に対する適応性が高いことから日本各地の河川や湖沼、ダム湖に移植され（濱田, 1980; 落合・田中, 1986）、内水面漁業や遊魚にとって重要な魚種となっている。

ワカサギは生活史の一時期に降海するものや汽水域を利用するもの、淡水域で生活史を完結するものなど回遊型の多型を持つが（浜田, 1953; Arai *et al.*, 2006; Katayama *et al.*, 2007）、その産卵場所は淡水域に限られ、生息水域によって湖沼や河川あるいはその両方に形成される（矢口, 1956; 岡田・伊藤, 1960; 寺尾・今井, 1960; 片山ら, 1996; 原ら, 2002; 久下, 2006; 富永・野内, 2006; 藍・尾崎, 2008; 富永, 2009）。

網走湖はワカサギの主要な原産地の1つである。網走

湖は下層の嫌気層と上層の好気層の二層構造からなる汽水湖であるため（今田ら, 1995; 安富ら, 1995）、ワカサギの産卵場所は主に流入河川に形成され（宇藤・坂崎, 1984）、湖内における産卵は河川でのそれに比べて著しく少ないと考えられている（鳥澤, 1999）。河川改修等による流入河川の産卵環境悪化がワカサギ資源の減少につながる事例もあり（松本, 1994）、網走湖産ワカサギにおいても流下仔魚の動態を明らかにすることは資源変動要因を検討する上で重要な課題である。

網走湖への流入河川である網走川・女満別川などで5～6月に孵化したワカサギ仔魚は、ただちに湖に流下し網走湖内で成長する（宇藤・坂崎, 1983; 宇藤, 1988）。孵化後に河川を降下するワカサギ流下仔魚は発育段階的には卵黄仔魚期に相当し、内部栄養から外部栄養への移行期として初期発生の中でも大きな転換点である。一般に魚類では、内部栄養から外部栄養への速やかな移行が

個体の成長や生残にとって重要であり(岩井, 1972; Miller and Kendall, 2009), ワカサギでも給餌開始の遅れが初期減耗を増加させることが実験条件下で知られている(岩井・柘植, 1986)。したがって, 河川で孵化したワカサギ仔魚が餌となるプランクトンの豊富な湖内へ到達するのに要する時間は, 摂餌開始の遅延や飢餓による成長不良と関連して初期減耗の要因となる可能性がある。また, 網走湖では5月中旬ないし下旬に微小動物プランクトン密度の極大があり, その密度は年によって大きく変動する(浅見, 2004)。流下時期の年変動は湖内のプランクトンの発生時期との match/mismatch を通じて初期減耗の要因となる可能性がある。このような視点から, 卵黄仔魚期の卵黄吸収過程と絶食耐性の評価, 孵化仔魚の湖内への到達時間や流下時期の年変動などの流下生態を合わせて明らかにすることが必要である。

本研究では, 飼育実験によってワカサギ卵黄仔魚の卵黄吸収過程と飢餓を経験した場合の回復不能点(Point-of-No-Return)を検討するとともに, 網走湖流入河川におけるワカサギ孵化仔魚の流下の日周期性や時期について調査し, 卵黄の保持(吸収)状態から湖内への到達時間を推定した。

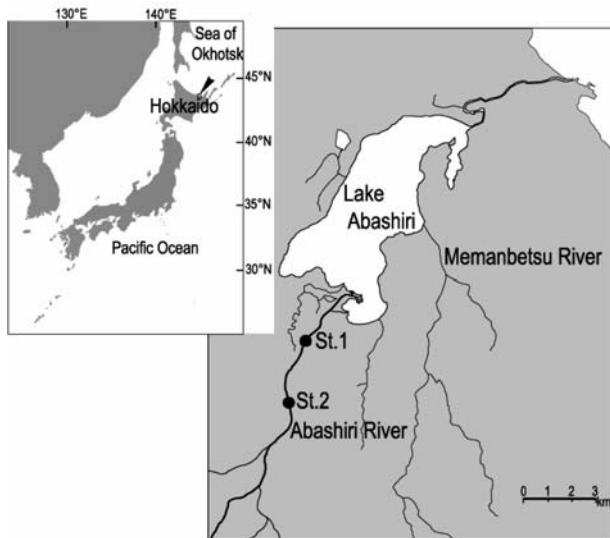


Fig. 1 Map showing the sampling stations at Abashiri River. Solid circles indicate the sampling sites.

## 試料及び方法

**飼育実験** 実験には, 1998年5月20日に女満別川で捕獲したワカサギ親魚から得た受精卵を用いた。受精卵を直径0.5mmのネットで作成した孵化枠に付着させ, 30L円形FRP水槽3個に収容した。飼育水温はワカサギ孵化時期の女満別川の河川水温に合わせ13°C(±1°C)に設定した。飼育は止水条件とし, スポンジフィルターを用

いてエアレーションを行った。仔魚が孵化した1998年5月31日に孵化枠を取り出し観察を開始した。斃死個体はスポイトで吸い取って取り除き, 無給餌で全個体が斃死するまで飼育した。孵化仔魚は孵化日から1日1回各水槽から10尾ずつ, 合計30個体を無作為に取り上げ5%中性ホルマリンで固定後に万能投影機で全長を測定し, 卵黄の有無を確認し測定個体数に対して卵黄を保持している個体数の比率(卵黄保持率)を求めた。卵黄を保持している個体は, 卵黄長( $l$ , mm)と卵黄高( $h$ , mm)を計測した。ワカサギ卵黄仔魚の卵黄嚢は回転楕円体に近似であると見なして, Heming and Buddington (1988)にしたがって卵黄体積( $V$ , mm<sup>3</sup>)を次式で求めた。

$$V = \pi/6 \times l \times h^2$$

**網走湖流入河川における流下仔魚の採集** ワカサギ仔魚の流下の日周期性を検討するため, 網走川の網走湖流入口から約2km上流の治水橋付近(St.1)において, 24時間の仔魚採集を2回実施した(Fig. 1)。1回目は1998年5月18~19日に1時間ごとに計25回, 2回目は6月1~2日に2時間ごとに計13回, 仔魚を採集した。1998年はSt.1に加えて, 網走湖流入口から約5km上流の豊郷橋(St.2)においても仔魚の採集を行なった。St.1とSt.2の間にある国土交通省網走川本郷観測所のデータ(国土交通省水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp/>, 2012年6月7日)によると, 5月18~19日の流量は15.1~15.9m<sup>3</sup>/秒, 6月1~2日は10.0~11.4m<sup>3</sup>/秒と安定しており, 時間による流量の変化は小さかった。

**仔魚の流下時期の年変動** 仔魚の流下時期の年変動を検討するため, 1998~2000年の5~6月にSt.1で仔魚の採集を行った。採集時刻は1998年には7:00~8:00, 1999年と2000年は19:00~20:00とした。原則的に1998年は2日に1回, 1999年と2000年には4日に1回の採集を行なった。調査回数はそれぞれ19回, 22回, 18回であった。流下仔魚はNORPACネット(北太平洋標準プランクトンネット, 口径45cm, ネット長180cm, GG54)を調査地点の流心部で吹流し状に5分間定置して採集した。濾水計は装着しなかった。国土交通省網走川本郷観測所のデータによると, 各年調査日の平均流量は13.6±4.0, 27.2±19.9, 37.2±23.8m<sup>3</sup>/秒であった。採集した仔魚は直ちに5%中性ホルマリンで固定した後, 測定に供した。採集したサンプルは1サンプルにつき100個体を上限に無作為に抽出し, 万能投影器で全長を測定した。1998年に採集されたサンプルについては, 卵黄長と卵黄高を計測し卵黄体積を求めた。また, 採集時に河川の表層水温を測定した。

## 結果

**飼育実験** 飼育試験は無給餌で行ったため、水質の悪化は見られなかった。孵化後3日目まで、仔魚が水槽中を活発に遊泳する様子が観察されたが、孵化後4日目になると斃死個体や水槽底面で動かない個体があらわれた。孵化後6日目には遊泳している個体が減少し（各水槽55, 40, 57個体）、動かない個体が増加した（229, 209, 229個体）。7日目には遊泳する個体はまったく見られなくなった。8日目には全個体の斃死が確認された。

孵化直後の仔魚の全長平均は $4.9 \pm 0.3$ mmであった（Fig. 2, Table 1）。孵化直後から1日目にかけて特に伸長し、平均全長は $5.2 \pm 0.3$ mmとなった。その後は5日目まで緩やかに伸長し $5.5 \pm 0.3$ mmに達したが、6日目以降には平均全長は縮小した。日齢ごとの体長には有意差が認められた（分散分析,  $F=9.118$ ,  $p<0.01$ ）。

孵化後3日目まで96.7%の個体が卵黄を保持していた（Fig. 2）。卵黄体積は孵化直後に $0.0459 \pm 0.0235$ mm<sup>3</sup>で

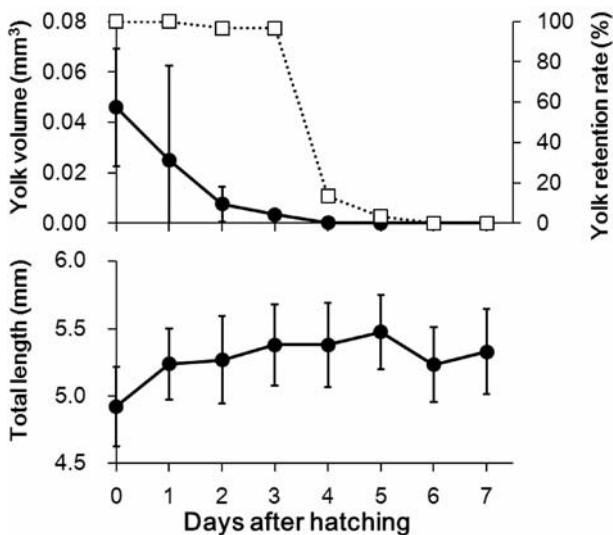


Fig. 2 Daily changes in the total length, yolk volume, and yolk retention rate in newly hatched larvae of wakasagi reared at a water temperature of 13°C. Solid circles show the yolk volume. Open squares show the yolk retention rate; the number of individuals having yolk by the number of samples examined ( $n=30$ ). Vertical bars are expressed as the standard deviation.

Table 1 Total length and yolk volume of rearing larvae during the rearing experiment

Date	Age (Days after hatching)	Total length in mm mean $\pm$ SD	Yolk volume in mm <sup>3</sup> mean $\pm$ SD	Yolk retentive rate
May 31	0	$4.924 \pm 0.295$	$0.0459 \pm 0.0235$	100.0 (30/30)
June 1	1	$5.240 \pm 0.264$	$0.0251 \pm 0.0372$	100.0 (30/30)
June 2	2	$5.270 \pm 0.327$	$0.0076 \pm 0.0069$	96.7 (29/30)
June 3	3	$5.382 \pm 0.302$	$0.0034 \pm 0.0019$	96.7 (29/30)
June 4	4	$5.382 \pm 0.313$	$0.0003 \pm 0.0007$	13.3 (4/30)
June 5	5	$5.477 \pm 0.276$	$0.0001 \pm 0.0007$	3.3 (1/30)
June 6	6	$5.233 \pm 0.278$	-	0.0 (0/30)
June 7	7	$5.330 \pm 0.317$	-	0.0 (0/30)

あったが、急激に吸収が進み孵化後1日目の卵黄体積平均は $0.0251 \pm 0.0372$ mm<sup>3</sup>、2日目は $0.0076 \pm 0.0069$ mm<sup>3</sup>、3日目には $0.0034 \pm 0.0019$ mm<sup>3</sup>となった。孵化後3日目から4日目にかけて卵黄を持つ仔魚の割合は急速に減少し4日目には13.3%、孵化後5日目には3.3%まで減少し、6日目には卵黄を持つ個体は観察されなかった。

## 流下仔魚数の日周性と年変動

**仔魚採集尾数の日周性** 網走川 St.1における24時間の仔魚採集尾数および水温変化の日周変動を Fig. 3に示した。1998年5月18~19日の採集では19時以降に採集尾数が急激に増加し、20時には5分あたりの採集尾数が4,272個体で最大となった。それ以外の時間帯では単位時間当たりの仔魚採集尾数は比較的少なく5分当たり77~1,400尾であった。6月1~2日の採集では、21時に5分あたり採集量が119個体と最大値を示しそれ以外の時間の採集尾数は著しく少なかった。調査時の水温は5月18~19日には12.4~15.2°C、6月1~2日には9.6~13.8°Cであり、水温変化と仔魚採集尾数には明瞭な関係は認められなかった。

Table 2に24時間調査で採集された仔魚の採集数、全長および卵黄体積を示した。採集された仔魚の採集時間ごとの全長平均値は4.35~4.96mmの範囲にあり、全長平均値に採集時間による有意差は認められなかった（分散分析, 分散比  $F=2.109$ ,  $p>0.05$ ）。一方、卵黄体積は $0.0133 \sim 0.0449$ mm<sup>3</sup>の範囲にあり、採集時間によって有意差が認められた（分散分析,  $F=7.956$ ,  $p<0.001$ ）。しかし、採集時間に伴う卵黄指数の変化に一定の傾向は認められなかった。

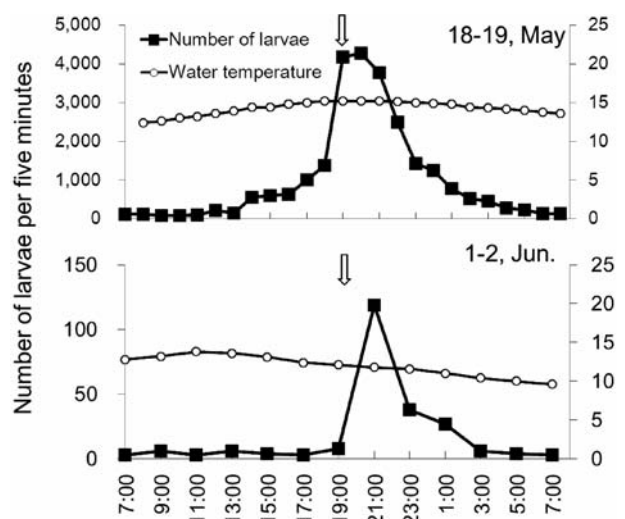


Fig. 3 Diurnal fluctuation of the number of drifting larvae collected with a NORPAC net in Abashiri River (St.1) on May 18-19 (upper), and June 1-2 (lower), 1998. Arrows show sunset (18:45 and 18:58, respectively).

Table2 Diurnal changes in the number of larvae, and mean total length and yolk volume of wakasagi larvae collected in Abashiri River St.1

Date	Sampling Time	Number of larvae collected	Total length in mm		Yolk volume in mm <sup>3</sup>	
			mean±SD	mean±SD	mean±SD	mean±SD
May 18, 1998	7:00	112	4.829 ± 0.315	0.0234 ± 0.0130		
	8:00	110	4.848 ± 0.308	0.0242 ± 0.0200		
	9:00	77	4.890 ± 0.301	0.0218 ± 0.0132		
	10:00	86	4.783 ± 0.335	0.0250 ± 0.0228		
	11:00	106	4.733 ± 0.308	0.0312 ± 0.0166		
	12:00	209	4.844 ± 0.225	0.0218 ± 0.0141		
	13:00	149	4.889 ± 0.273	0.0257 ± 0.0141		
	14:00	557	4.959 ± 0.274	0.0279 ± 0.0153		
	15:00	606	4.878 ± 0.316	0.0366 ± 0.0226		
	16:00	640	4.916 ± 0.293	0.0290 ± 0.0128		
	17:00	1,004	4.888 ± 0.300	0.0345 ± 0.0135		
	18:00	1,371	4.841 ± 0.299	0.0359 ± 0.0191		
	May 19, 1998	19:00	4,176	4.857 ± 0.322	0.0291 ± 0.0140	
20:00		4,272	4.953 ± 0.312	0.0367 ± 0.0182		
21:00		3,770	4.857 ± 0.292	0.0349 ± 0.0149		
22:00		2,501	4.822 ± 0.319	0.0327 ± 0.0138		
23:00		1,423	4.900 ± 0.289	0.0388 ± 0.0156		
0:00		1,247	4.888 ± 0.260	0.0377 ± 0.0183		
1:00		777	4.874 ± 0.302	0.0346 ± 0.0158		
2:00		516	4.841 ± 0.246	0.0344 ± 0.0167		
3:00		454	4.917 ± 0.292	0.0449 ± 0.0240		
4:00		276	4.838 ± 0.324	0.0334 ± 0.0152		
5:00		237	4.835 ± 0.277	0.0319 ± 0.0206		
June 1, 1998	6:00	131	4.836 ± 0.320	0.0337 ± 0.0159		
	7:00	128	4.809 ± 0.345	0.0324 ± 0.0140		
	7:00	3	4.350 ± 0.312	0.0313 ± 0.0010		
	9:00	6	4.642 ± 0.331	0.0218 ± 0.0190		
	11:00	3	4.917 ± 0.382	0.0255 ± 0.0183		
	13:00	6	4.470 ± 0.373	0.0321 ± 0.0091		
	15:00	4	4.763 ± 0.206	0.0293 ± 0.0127		
	17:00	3	4.750 ± 0.132	0.0243 ± 0.0110		
June 2, 1998	19:00	8	4.681 ± 0.285	0.0417		
	21:00	119	4.477 ± 0.226	0.0288 ± 0.0178		
	23:00	38	4.505 ± 0.184	0.0258 ± 0.0210		
	1:00	27	4.639 ± 0.226	0.0255 ± 0.0120		
	3:00	6	4.450 ± 0.574	0.0133 ± 0.0053		
	5:00	4	4.425 ± 0.393	0.0411 ± 0.0248		
	7:00	3	4.650 ± 0.304	-		

流下仔魚採集時期の年変動 網走川 St. 1における1998～2000年の流下仔魚採集尾数および調査時の水温を Fig. 4に示した。1998年には5月6日から流下仔魚が採集された。5月13日に5分当り130個体、5月18～21日にも5分当たり100個体以上が採集され5月中旬に採集盛期が認められた。その後、採集数は急激に減少し6月11日には採集されなくなった。1999年は5月21日から仔魚が採集され、5月24日に802個体の仔魚が採集されピークが認められた。仔魚の流下の期間が比較的長く続き、3つの採集尾数のピークが認められた。仔魚が採集されなくなったのは6月25日であり、採集期間は約1ヶ月であった。2000年には5月17日から仔魚の流下が認められ5月29日にもっとも採集尾数が多かった。その後、仔魚の採集量は激減し6月15日を最後に採集されなかった。3年間通じて、流下時期と水温には直接的な関係は見出せなかった。

網走川 St. 1と St. 2の採集尾数の比較 網走川 St. 1と St. 2では採集尾数の変動パターンがほぼ一致していたが、上流にある St. 2の仔魚流下数は下流側の St. 1と比較して著し

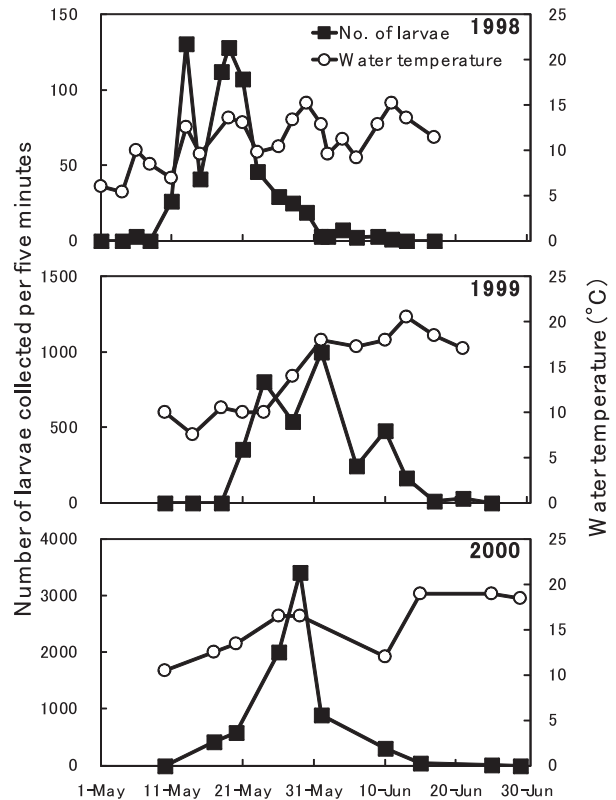


Fig.4 Temporal changes in the number of wakasagi drifting larvae collected in Abashiri River (St.1) during May - June 1998 (upper), 1999 (middle), and 2000 (lower). Solid squares show the number of collected larvae in five minutes. Open circles are water temperature (°C).

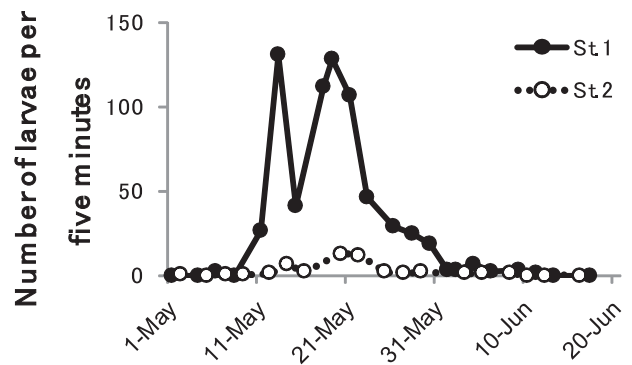


Fig.5 Comparison of the number of wakasagi larvae collected at St.1 and St.2 in 1998. Solid circles show the samples at St.1. Open circles are the collected larvae at St.2.

く少なかった (Fig. 5)。St.2では流下仔魚は採集を開始した5月2日から採集され、5月14日と5月20～22日にピークが見られた。このときの流下仔魚の採集数は最大で5分当り13個体であった。このピーク以外の流下仔魚採集数は著しく少なく、5分当り0.2～6.3個体であった。6月8日を最後に流下仔魚は採集されなくなった。それぞれ採集盛期に網走川 St. 1と St. 2で採集されたワカサギ仔魚の体長および卵黄体積を比較したところ (Table 3), 有

Table3 Total length and yolk volume of wakasagi larvae collected at St.1 and St.2 in Abashiri River, 1998

Station	Sampling date	Number of larvae collected	Total length in mm mean±SD	Yolk volume in mm <sup>3</sup> mean±SD
St.1	May 1	0		
	May 4	0		
	May 6	15	-	-
	May 8	0		
	May 11	79	-	-
	May 13	392	-	-
	May 15	41	-	-
	May 18	112	4.829 ± 0.315	0.0234 ± 0.0130
	May 19	128	4.848 ± 0.345	0.0324 ± 0.0140
	May 21	107	4.478 ± 0.358	0.0251 ± 0.0142
	May 23	46	4.657 ± 0.346	0.0198 ± 0.0119
	May 26	29	4.766 ± 0.283	0.0166 ± 0.0071
	May 28	25	4.636 ± 0.212	0.0217 ± 0.0096
	May 30	19	4.709 ± 0.257	0.0166 ± 0.0093
	June 1	3	4.350 ± 0.312	0.0313 ± 0.0010
	June 2	3	4.767 ± 0.154	-
	June 4	7	4.425 ± 0.154	0.0148 0.0114
	June 6	2	4.533 ± 0.177	0.0073
	June 9	3	5.250 ± 0.289	0.0147 0.0028
	June 11	1	-	-
	June 13	0		
June 17	0			
St.2	May 2	1	-	-
	May 5	0		
	May 7	1	-	-
	May 9	1	-	-
	May 12	3	-	-
	May 14	19	-	-
	May 16	7	-	-
	May 20	13	4.767 ± 0.293	0.0264 ± 0.0103
	May 22	12	4.757 ± 0.318	0.0138 ± 0.0060
	May 25	2	4.725 ± 0.530	0.0180
	May 27	1	4.600 ± 0.035	-
	May 29	2	4.790	-
	June 3	1	4.000	0.0461
	June 5	1	4.650	0.0236
	June 8	1	4.500	
	June 10	0		
	June 12	0		
June 16	0			

-: No data caused by sample breakage.

意差は認められなかった ( $F=0.850$ ,  $F=0.019$ ,  $p>0.05$ )。

## 考 察

卵黄を持つ仔魚の割合から、水温13℃の条件で半数の個体が卵黄吸収を終えるのは孵化後3.5日と考えられた (Fig.2)。孵化後5日目には96.7%、孵化後6日目には全ての個体が卵黄を吸収し終えた。観察では6日目には遊泳している個体が16%程度と減少しており、水槽飼育のため卵黄が吸収されても外部の餌を摂れないことにより衰弱した個体が増加したと考えられた。その2日後の8日目にはすべての個体が斃死したことから、卵黄吸収後の絶食耐性時間は48時間以内であると考えられる。しか

し、それ以前の孵化後5日目の時点でそれまで伸長していた全長が縮小に転じており、卵黄が消費され飢餓状態に陥った結果、体細胞の消費へと移行したと考えられる。仔稚魚が体細胞消費へ移行した場合、その段階で摂餌を開始したとしても回復の可能性は著しく低下する (Blaxter and Ehrlich, 1974)。したがって、ワカサギ卵黄仔魚期における回復不能点は、孵化後5日目に存在すると推定される。流入河川で孵化したワカサギ仔魚が比較的高い生残率を維持するためには、孵化後4日以内に湖内へ加入することが必要になるだろう。

網走湖流入河川においてワカサギ仔魚は日没後に集中的に孵化し、0～1日齢で湖に到達する可能性が高いと考えられる。網走川での流下仔魚24時間連続採集による採集ピークは日没 (5月18日, 18時45分; 6月1日, 18時58分) 直後の20時, 21時に明瞭に認められた。網走湖のワカサギ孵化場における観察でも、ワカサギが日没直後に集中的に孵化したことが確認されており (鳥澤, 1999), 流入河川である網走川で日没後に孵化した仔魚は直ちに流下したと考えるのが妥当である。

流入河川で採集された仔魚の発育段階は全て卵黄仔魚期であった。採集された仔魚の卵黄体積は、飼育実験で得られた日齢0～1日の仔魚のそれとほぼ等しい値であった。飼育実験では、孵化仔魚の体成長は孵化から1日目にもっとも大きく、卵黄吸収の割合も孵化直後から3日目にかけて最も大きいことが明らかとなった。24時間連続採集で得られた仔魚の全長には採集時間による有意差は認められず、さらに網走川 St.1とより上流の St.2で採集された仔魚の体長と卵黄体積に有意差は認められなかった。もし孵化仔魚が河川内で数日を経過してから採集されたとすれば、体長や卵黄体積に採集時間と採集場所によって差があるはずである。したがって、日没後に集中的に孵化した仔魚は、その後体成長や卵黄を消費するほどの時間を経ずに直ちに流下していると推定される。

長良川におけるアユは産卵場から40～140kmの流程を2～4日で流下する (塚本, 1991)。また、庄川におけるアユ孵化仔魚の大部分は夜間に孵化し、翌朝までには5～11km程度の流程を降下し日齢0日で河口域に達すると推定されており (田子, 1999), アユやワカサギのような仔魚では、産卵場所から数十kmの流程を流下するのに要する時間は長くても数日以内であると考えられる。網走川におけるワカサギの主要な産卵場所は、湖からおおよそ9km上流までの範囲にあることがわかっている (北海道栽培漁業振興公社, 1998) が、本研究では網走湖流入口から2km上流にある St.1と比較すると、同5km上流にある St.2の仔魚流下数は著しく少なかった。このことは、ワカサギの産卵場が網走川流入口から5km以内に多くあっ



たことを推測させる。網走川におけるワカサギ産卵場における流速範囲は10~80cm/秒、平均流速は40cm/秒であった(北海道栽培漁業振興公社, 1998)。産卵場から湖内流入口までを仮に平均流速40cm/秒で下るとすると、St.2からは5 kmの距離を約4時間程度で流下する計算になる。網走川におけるワカサギが日没後に孵出し直ちに流れに乗って流下すれば、翌朝までには十分な卵黄体積保持した状態で湖に流入することが可能である。

淡水魚の沈性卵仔魚は器官形成が進んだ状態で孵化し、卵黄・油球を残した状態で摂餌を開始する(田中, 1969a; 1969b)。ワカサギ仔魚の本格的な摂餌開始は孵化後4日目(佐藤, 1954)とされるが、ワカサギは孵化した時点ですでに比較的発育が進んでおり顎は未発達ながらも開口が認められる(Yamada, 1963; Torao, 2000)。卵黄仔魚期のワカサギ消化管内にも植物プランクトンが観察されたことが報告されている(白石, 1961)。また、網走湖内で採集された卵黄仔魚の消化管内にも珪藻が観察されることがあり、環境中に十分な餌生物が存在すれば、卵黄仔魚も摂餌が可能であると考えられる。一方で、本調査において流入河川で採集された個体の消化管内には内容物は観察されず、河川流下中には摂餌できていない可能性が高い。いくつかの魚種では、卵黄を保持している段階で摂餌を開始することが生残、成長に重要であることが明らかとなっている(Blaxter, 1963; Lasker, 1970; May, 1971; 福原, 1974)。ワカサギ仔魚の飼育実験では、給餌開始時期を孵化後3日目以降にすると生残率が著しく低下する(岩井・柘植, 1986)ことや、孵化直後からワムシの給餌を行った場合に給餌密度が高いほど生残率が向上する(久下, 2006)ことが知られており、卵黄を持つ段階での摂餌開始が生残に重要であることが明らかである。さらに、初期餌料発生密度が高い時期のワカサギ孵化仔魚の生残率が高い(熊丸, 2003)ことや、湖内の初期餌料密度がワカサギの生残に影響する(佐々木, 1981)ことが指摘されており、これらの野外調査の結果からは摂餌可能な餌料生物の量が生残に関わると考えられる。したがって、ワカサギの初期生残は、孵化後の出来るだけ早い時期に高密度の餌に遭遇することで向上すると考えられる。本調査の結果では、網走川におけるワカサギ仔魚の流下開始の時期やその期間、盛期の出現などの流下パターンには年変動が認められ、年によっておよそ2週間の違いがあった。これが湖内の餌料プランクトンの発生との時期的適合に関わる可能性もある。今後、網走湖内での餌料生物の発生時期や分布密度などの発生状況とワカサギ仔魚の加入時期の年変動とのマッチングに注目し研究を進める必要がある。

また、本調査の24時間連続採集で得られた仔魚の卵黄

体積には、一定の傾向はないものの、有意差が認められた。網走川では孵化から網走湖に流入するまでの時間が短いと考えられることから、卵黄体積の差は孵化時の個体差を反映しているのかもしれない。卵サイズの差に由来する卵黄体積の大きさは、絶食耐性に強く関連する(Blaxter, 1963)ことが知られており、湖内加入後の絶食耐性時間に個体差を生じることも考えられ、今後の研究課題として重要である。

## 謝 辞

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)鈴木淳志博士に感謝申し上げる。社団法人北海道栽培漁業振興公社の今田和史氏には本原稿を査読していただき、多くの有益な助言をいただいた。厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

- 藍憲一郎, 尾崎真澄. 千葉県高滝湖(人工湖)におけるワカサギ *Hypomesus nipponensis* の自然産卵. 千葉県水産総合研究センター研究報告 2008; 3: 15-20.
- Arai T, Yang J, Miyazaki N. Migration flexibility between freshwater and marine habitats of the pond smelt *Hypomesus nipponensis*. *J. Fish Biol.* 2006; 68(5): 1388-1398.
- 浅見大樹. 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 2004; 67: 1-79.
- Blaxter JHS and Ehrlich KF. Changes in behavior during starvation of herring and plaice larvae. In: Blaxter JHS (eds). *Early Life History of Fishes*. Springer-Verlag, Heidelberg. 1974; 575-588.
- Blaxter JHS, Hempel G. The influence of egg size on herring larvae (*Clupea harengus* L.). *J. Cons. perm. int. Explor. Mer.* 1963; 28: 211-240.
- 福原修. 初期の飢餓がマダイ仔魚の生残り, 成長および発育に及ぼす影響について. 南西海区水産研究所研究報告 1974; 7: 19-29.
- 浜田啓吉. ワカサギの生態学的研究Ⅲ. 網走湖産ワカサギに於ける鱗相による年齢査定の不確実性とその原因. 北大水産彙報 1953; 4(1): 46-53.
- 濱田啓吉. ワカサギ—弱いものは強い. 「日本の淡水生物侵略と攪乱の生態学(川合禎次・川那部浩哉・水野信彦編)」東海大学出版会, 東京. 1980; 49-55.
- 原徹, 森美津雄, 都竹仁一. 人工湖の水産利用に関する

- 研究 伊自良湖におけるワカサギの増殖研究. 岐阜県淡水魚研究所研究報告 2002 ; 47 : 5-11.
- Heming TA, Buddington RK. Yolk absorption in embryonic and larval fishes. In : Hoar WS, Randall DJ (eds). *Fish Physiology*. Academic Press, New York. 1988 ; 407-445.
- 北海道栽培漁業振興公社. 平成9年度網走川産卵床調査業務報告書. 北海道栽培漁業振興公社, 札幌市. 1998 ; 1-95.
- 今田和史, 坂崎繁樹, 川尻敏文, 小林耕一. 網走市4湖沼(網走湖, 能取湖, 涛沸湖, 藻琴湖)の湖盆形態と塩分環境. 北海道立水産孵化場研究報告 1995 ; 49 : 37-48.
- 岩井寿夫, 柘植隆行. ワカサギ孵化仔魚の生残・成長に及ぼす給餌開始期の影響. 水産増殖 1986 ; 34(2) : 103-106.
- 岩井保. 仔魚の摂食について. うみ 1972 ; 10(2) : 71-82.
- 片山智史, 大森迪夫, 大方昭弘. 小川原湖におけるワカサギ産卵群の産卵場選択. 海洋 1996 ; 28(5) : 308-314.
- Katayama S, Saruwatari T, Kimura K, Yamaguchi M, Sasaki T, Torao T, Fujioka T, Okada N. Variation in migration patterns of pond smelt, *Hypomesus nipponensis*, in Japan determined by otolith microchemical analysis. *Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr.*, 2007 ; 71(3) : 175-182.
- 久下敏宏. 群馬県におけるワカサギの増殖に関する研究. 群馬県水産試験場研究報告 2006 ; 12 : 1-128.
- 熊丸敦郎. 霞ヶ浦における近年のワカサギ資源変動要因について. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告 2003 ; 38 : 1-18.
- Lasker R, Feder HM, Theilacker GH, May RC. Feeding, growth, and survival *Engraulis mordax* larvae reared in the laboratory. *Mar. Biol.* 1970 ; 5 : 345-353.
- 松本洋典. 宍道湖におけるワカサギ資源の変動. 島根県水産試験場研究報告 1994 ; 8 : 171-183.
- May RC. Effects of delayed initial feeding on larval of the Grunion, *Leuresthes tenuis* (AYRES). *Fish. Bull.* 1971 ; 69(2) : 411-425.
- Miller BS, Kendall AW Jr. *Early Life History of Marine Fishes*. University of California Press, London. 2009.
- 岡田雋, 伊藤小四郎, 石狩古川産ワカサギ魚群の生態研究. 水産孵化場研究報告 1960 ; 15 : 29-40.
- 落合明, 田中克. ワカサギ. 「新版魚類学(下)」(落合明・田中克編) 恒星社厚生閣, 東京. 1986 ; pp. 477-488.
- 佐藤隆平. ワカサギの漁業生物学. 水産増殖叢書 1954 ; 5 : 1-99.
- 佐々木道也. 霞ヶ浦の最近におけるワカサギ (*Hypomesus olidus*) 資源の動向について—II 資源変動要因. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告 1981 ; 18 : 6-25.
- 白石芳一. ワカサギの水産生物学的ならびに資源学的研究. 淡水区水産研究所研究報告 1961 ; 10(3) : 1-263.
- 田子泰彦. 庄川におけるアユ仔魚の河口域への到達時間の推定. 水産増殖 1999 ; 47(2) : 215-220.
- 田中克. 仔魚の消化系の構造と機能に関する研究 I. 前期仔魚の消化系の発達. 魚類学雑誌 1969 ; 16(1) : 1-9.
- 田中克. 仔魚の消化系の構造と機能に関する研究 II. 摂餌開始時の仔魚の消化系の特徴. 魚類学雑誌 1969 ; 16(2) : 41-49.
- 寺尾俊郎, 今井輝. 桂沢人工湖のワカサギ生態調査(第2報). 水産孵化場研究報告 1960 ; 15 : 63-70.
- 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. 茨城県内水面水産試験場研究報告 2009 ; 42 : 15-19.
- 富永敦, 野内孝則. 霞ヶ浦の流入河川におけるワカサギの産卵. 茨城県内水面水産試験場研究報告 2006 ; 40 : 23-27.
- Torao M. Early developmental phase of Wakasagi, *Hypomesus nipponensis*, in Lake Abashiri. *Fish. Sci.* 2000 ; 66 : 605-607.
- 鳥澤雅. 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 1999 ; 56 : 1-117.
- 塚本勝巳. 長良川・木曾川・利根川を流下する仔アユの日齢. 日本水産学会誌 1991 ; 57(11) : 2013-2022.
- Saruwatari T, Lopez JA, Pietsch TW. A revision of the osmerid genus *Hypomesus* Gill (Teleostei : Salmoniformes), with the description of a new species from the southern Kuril Islands. *Species Diversity*. 1997 ; 2 : 59-82.
- 宇藤均. 網走湖の湖環境変動と漁業生物. 陸水学雑誌 1988 ; 49(4) : 293-301.
- 宇藤均, 坂崎繁樹. 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 1983 ; 40 : 147-156.
- 宇藤均, 坂崎繁樹. 網走湖産ワカサギの生活史第2報. 産卵期に産卵河川および湖内で採捕されるワカサギについて. 北水試月報 1984 ; 41 : 447-459.
- Yamada J. The normal developmental stage of the pond smelt, *Hypomesus olidus*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 1963 ; 14(3) : 121-135.
- 矢口正直. 霞ヶ浦におけるワカサギの漁業生物学的研究 II ワカサギの産卵場について. 茨城県水産振興場調

査研究報告 1956 ; 1 : 29-32.  
安富亮平, 今田和史, 伊澤敏穂, 坂崎繁樹, 川尻敏文,  
小林耕一. 網走市 4 湖沼 (網走湖, 能取湖, 涛沸湖,

藻琴湖) の水質環境の特徴. 北海道立水産孵化場研  
究報告 1995 ; 49 : 25-36.