

Table 8 Continued in 1997.

Date (Station)	Food items	Length group (mm)												
		4 to <5	5 to <6	6 to <7	7 to <8	8 to <9	9 to <10	10 to <11	11 to <12	12 to <13	13 to <14	14 to <15	15 to <16	
May 12 (St.8)	protozoans													
	ciliates	100	17	50	100									
	rotifers													
	<i>Conochilus</i> egg	0	83	50	0									
	No. of food items /larvae No. of larvae examined	1.00 1	0.15 39	0.57 7	3.00 1									
May 26 (St.9)	rotifers													
	<i>Keratella cruciformis</i>		0	67	50	56	48	50						
	<i>K. cruciformis</i> egg		0	33	50	44	48	50						
	<i>K. quadrata</i>		0	0	0	0	3	0						
	No. of food items /larvae No. of larvae examined		0 4	0.33 9	2.50 4	4.50 4	15.50 2	2.00 1						
June 12 (St.9)	rotifers													
	<i>Keratella cruciformis</i>			0	0	13	0	0	0	0	0			
	<i>K. cruciformis</i> egg			0	0	7	0	0	0	0	0			
	<i>Notholca</i> spp.			0	0	13	0	0	0	0	0			
	copepods													
	copepod nauplii			0	100	60	100	0	50	75	100			
	<i>Sinocalanus tenellus</i>			0	0	7	0	0	50	25	0			
	No. of food items /larvae No. of larvae examined			0 1	0.25 4	1.88 8	0.33 3	0 6	0.50 4	0.36 11	0.33 3			
	June 24 (St.9)	rotifers												
		<i>Keratella cruciformis</i>		0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
copepods														
copepod nauplii			100	67	100	0	50	23	31	32	26	13	0	
<i>Sinocalanus tenellus</i>			0	0	0	0	50	77	69	68	74	88	100	
No. of food items /larvae No. of larvae examined			1.00 1	3.00 1	1.00 1	0 1	1.20 5	1.86 7	1.86 7	3.13 8	2.30 10	2.67 6	2.00 1	

1996年の仔魚の消化管内容物組成は、1995年とは様相を異にしていた。すなわち、主な消化管内容物は原生動物（繊毛虫）、輪虫類の*Brachionus* sp.とその卵、*K. cruciformis*とその卵、*Polyarthra* sp.、および*Keratella*属以外の卵であった。カイアシ類ノープリウス期は、6月10日の体長5～6 mmの個体の消化管中に33%の組成率で出現しただけであった。また、カイアシ類は調査期間を通じて全く出現しなかった。消化管内容物を日別に見ると、5月27日は空胃個体が多く、体長4～5 mmの個体に*K. cruciformis*の卵が観察されただけであった。しかし、6月10日には*Brachionus* sp.、*K. cruciformis*、*Polyarthra* sp. および*Keratella*属以外の卵が観察され、6月24日には*Brachionus* sp. とその卵がすべての体長の個体から観察された。

1997年の仔魚の消化管内容物は、1995年のそれと比較的良く一致し、原生動物（繊毛虫）と輪虫類の*Conochilus* sp. の卵、*K. quadrata*、*Notholca* sp. が新たに加わった。5月12日には、仔魚は原生動物（繊毛虫）と*Conochilus*の卵を摂餌していたが、5月26日以降は1995年と同様に*K. cruciformis*とその卵、カイアシ類ノープリウス期、および*S. tenellus*が主な消化管内容物であった。*K. cruciformis*とその卵は、5月26日には体長6～11mm、6月12日には8～9 mm、6月24日には6～7 mmの個体

の消化管内に出現した。カイアシ類ノープリウス期は、6月12日と6月24日に採集された個体の消化管内に出現し、ほぼすべての体長で観察された。*S. tenellus*は6月以降、体長約10mm以上の個体の消化管内に比較的高率で出現した。

Fig. 15に、仔魚の体長と消化管内容物中の餌生物の体サイズとの関係を示した。1995年と1997年の両者の関係はほぼ同様であり、体長が約10mm以上の仔魚は500 μ m以上の大型サイズをも摂餌するようになり、摂餌した餌生物のサイズはより拡大した。この500 μ m以上の大型サイズは、カイアシ類の*S. tenellus*であった。しかし、1996年の仔魚の体長と餌サイズとの関係は、これら2年と異なり、この違いは消化管内容物中にカイアシ類が出現しなかったことによる。

以上、3年間に亘って仔魚の消化管内容物組成を観察した結果、以下のことが明らかとなった。1995年と1997年の仔魚の消化管内容物組成は比較的類似し、主な消化管内容物は輪虫類の*K. cruciformis*とその卵、カイアシ類ノープリウス期および*S. tenellus*であった。そして、同一日に採集された個体でも体長によって消化管内容物組成は異なり、体長約10mmを境にして、それ以上の個体はより大型の餌生物である*S. tenellus*を摂餌するようになり、成長に伴って餌生物のサイズが大型化した。し

かし、1996年の仔魚の消化管内容物組成は、体長に関係なく輪虫類とその卵（特に、*Brachionus* sp. とその卵）が卓越した点で他の2年とは異なっていた。これらの消化管内容物組成は、いずれも環境中の動物プランクトン組成の変動と良く一致していた。

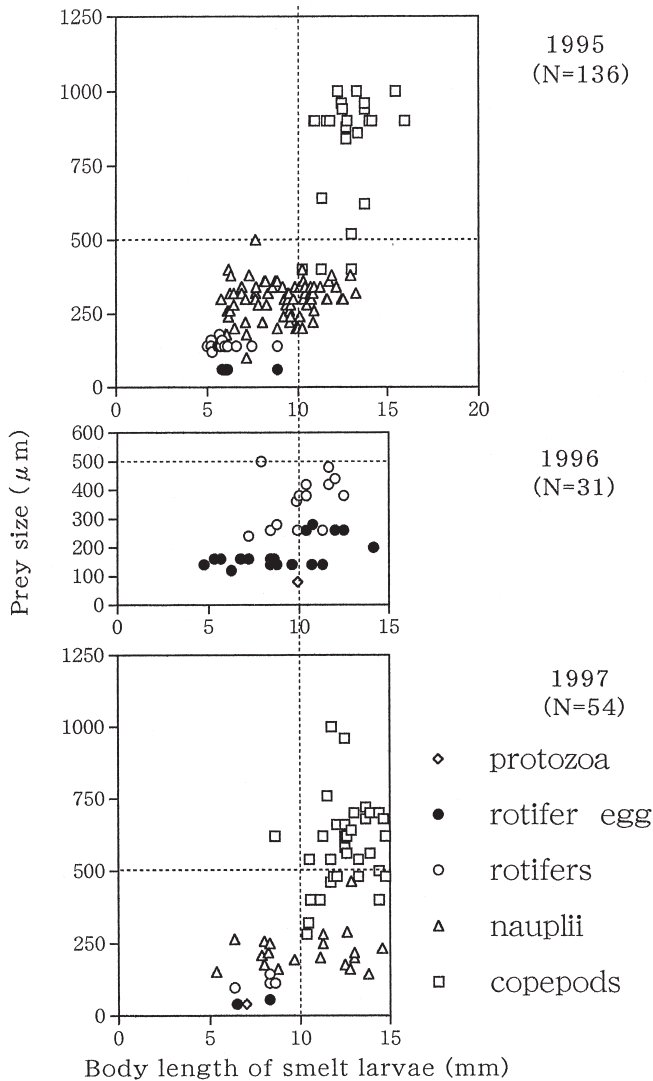


Fig.15 Relationships between body length of smelt larvae and prey size from 1995 to 1997. Number in parentheses indicate the number of larvae examined.

3. 仔魚の鉛直分布

3.1. 昼夜分布

前節では仔魚の表層域における水平分布について述べたが、湖内のワカサギ仔魚の分布密度や体長組成に採集地点間や環境要因との間には密接な関係は見出せなかった。そこで、次に仔魚の鉛直分布について検討した。

6月の結果を除いて、仔魚の鉛直分布は昼夜で大きく異なった (Fig. 16a)。5月に行った2回の結果では、仔

魚は日中、最深採集層の5m層に多く分布し、その採集個体数は表面の約30~100倍に達した。しかし、夜間にはこれが逆転し、いずれも表面に最も多く分布した。6月には5月のように鉛直分布は昼夜で顕著な違いがなかったものの、日中は5m層に最も多く分布したのに対し、夜間は2m層で最も多く、昼夜で若干の違いが観察された。5月(13日)の水温は、表面の10℃から緩やかに減少し、7mでは8℃となった。塩分は表面から6mまで2.7~4.2psuと緩やかに増加し、6mから7mにかけては4.2psuから11.0psuまで急激に増加した。また、6月(23日)の水温は、表面の20℃から7mの14℃まで緩やかに減少した。塩分は表面から6mまでは3~4psuであったが、6mから7mでは4psuから6psuまで増加した。

体長組成は5月13日には昼夜ともに違いがなく、4~8mmの範囲にあり、5~6mmの個体が全体の60~80%を占めた (Fig. 16b)。そして、ほとんどの個体が卵黄嚢を持つ個体であった。5月26日には、仔魚の体長は3~10mmとなり、日中は2mで3~7mmの個体、5mでは3~7mmの個体の他にも7~10mmのより大型の個体が採集された。しかし、夜間にはすべての採集深度で5~6mmの個体が最も多く、採集深度による体長組成の違いは認められなかった。6月の調査日には、採集された仔魚の体長は4~16mmと広がった。そして、卵黄嚢を持つ個体はほとんど消失した。日中には、0~2mには分布しなかった10mm以上のより大型の個体が5m層に分布していた。夜間は、表面を除いて2~5mでは4~16mmの個体が広い体長範囲で分布した。

St.9は日中だけの採集であったが、仔魚の鉛直分布は湖の物理構造との関係で極めて特徴的であった (Fig. 17a)。すなわち、調査を行った3回の事例のうち5月26日を除く2例について、仔魚はいずれも6~7m層に濃密に分布していることが観察された。そして、この6~7m層はいずれも塩分躍層上部に相当していた。しかし、5月26日の結果は2~4mで約50個体と最も多く分布し、6mでは16個体であり、他の2例とは異なった。5月13日には湖岸のSt.9'と同様に多くの個体は卵黄嚢を持っていた (Fig. 17b)。そして、6~7mmのより大型の個体は0~2mには出現しなかったが、4~6mには分布していた。6月23日も同様に、10mm以上のより大型の個体が7mに分布した。しかし、鉛直分布がこれら2例と異なった5月26日には、2~6mで体長組成の違いは明らかではなかった。

仔魚の鉛直分布の特徴として以下のことが挙げられる。一つには、日中と夜間ではその分布層は異なり、仔魚は卵黄嚢を持つ時期から日中はより深層に多く分布

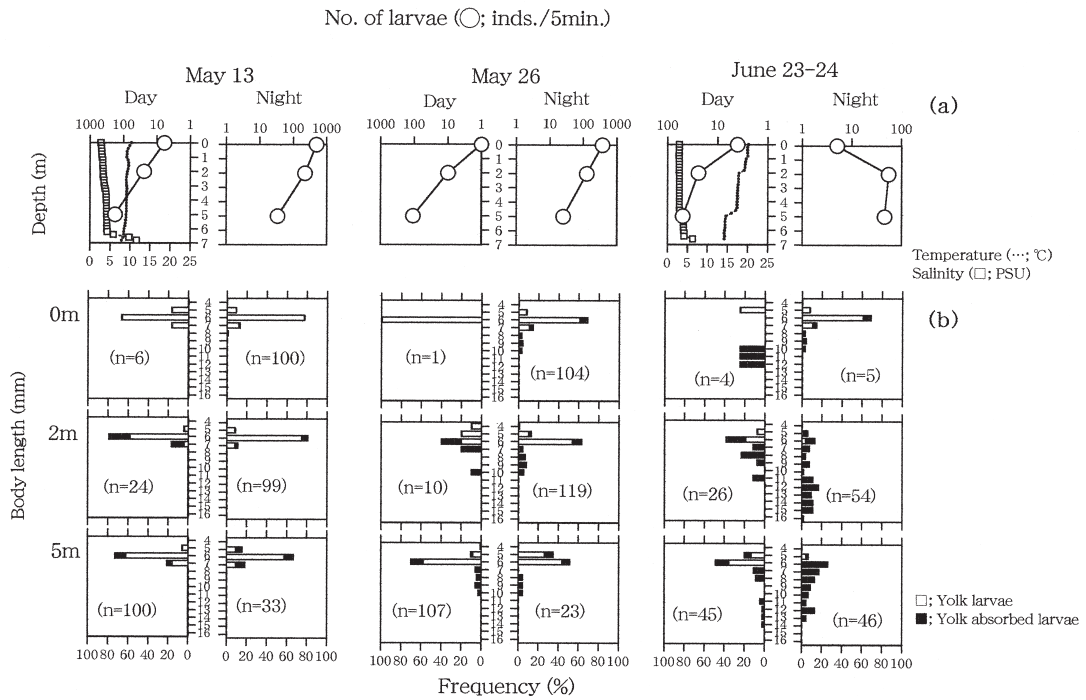


Fig.16 Abundance (a) and body length distribution (b) of smelt larvae at 0, 2, 5m depth at St.9' during day and nighttime in May – June, 1997. Water temperature and salinity were measured on May 13 and June 23 only during daytime.

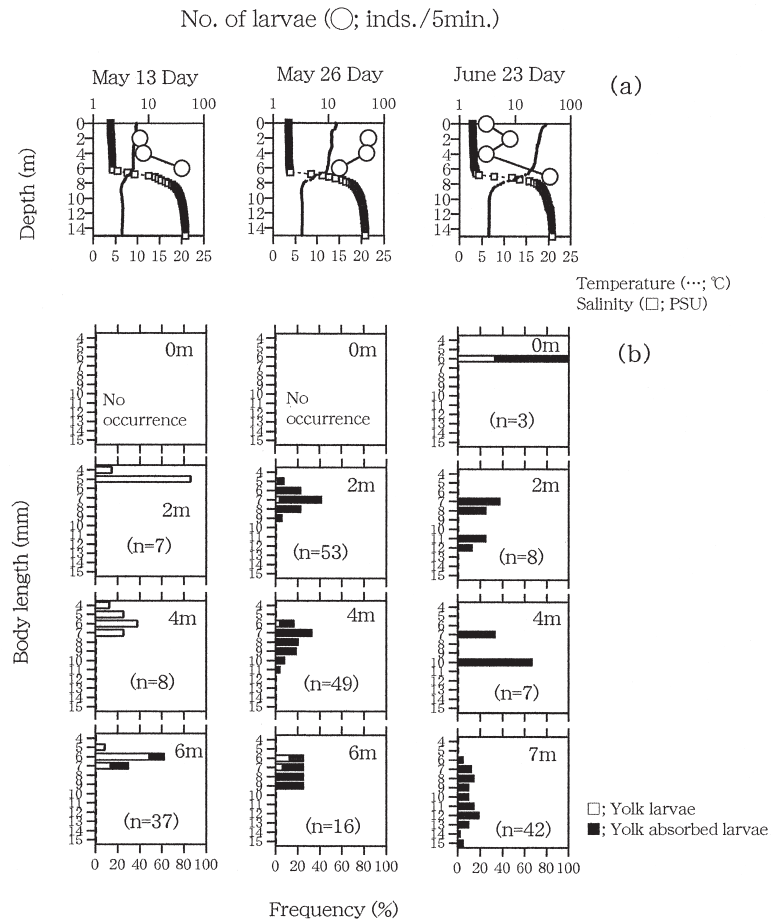


Fig.17 Abundance (a) and body length distribution (b) of smelt larvae at 0, 2, 4, 6 or 7m depth during daytime at St.9 in May – June, 1997. Water temperature and salinity are superimposed on (a).

し、特にSt.9で見られたように塩分躍層上部に濃密な分布が観察された。しかし、夜間はこれが逆転し、仔魚はより表層に多く分布するという特徴があった。また、St.9'での各深度における昼夜の体長組成の比較から、より大型の個体は日中には深層に分布するが、夜間は水深による体長の違いが不明瞭となり、仔魚の体長頻度分布は表層から深層まで一様となっていた。

3.2. 日周鉛直分布

前述したように、仔魚は日中は深層に、夜間は表層に分布するといった昼夜分布が観察された。そこで、さらにこのことを確かめるために、1998年5月15日に湖岸の1定点(St.9')で、6回の連続採集を行い、採集時刻による仔魚の鉛直分布の変化の詳細を調べた。

調査を行った1998年5月15日の天候は晴れ、湖面は風であった。日出時刻は3時57分、日没時刻は18時42分であった(Table 2)。日出の約1時間後の4時45分、仔魚の採集個体数(水平曳5分間当たりの採集個体数)は、0mで17個体、2mで49個体、5mで72個体であり、5mで最も多かった(Fig. 18a)。この傾向は以降、12時まで

同様であり、仔魚はいずれの時刻も5mで最も多く採集された。しかし、夕方の16時には、0mで4個体、2mで86個体、5mで55個体と2mで最も多く採集された。さらに、日没から約20分後の19時には、2mで209個体となり、分布の中心が5mから2mへと変化した。そして、夜間の21時には、0mで689個体、2mで446個体、5mで111個体と、0mで圧倒的に多く採集された。日中の12時と夜間の21時に観測した水温は、12時には表層で14.7℃、7mで10.8℃、21時には表層で14.5℃、7mで10.5℃であり、大きな違いはなかった。塩分も同様に、両時刻とも表層から6.8mまでは1.4~1.8psuと緩やかに増加し、6.8~7mでは1.8~9.7psuまで急激に増加して塩分躍層が観察された。

すべての採集時刻を通して仔魚の体長は、4~12mmの範囲にあった(Fig. 18b)。そして、卵黄囊を持つ個体の体長は4~7mmの範囲にあった。日出後の早朝4時45分には表層で4~9mmの個体が分布したが、8時から日没直後の19時には表層に4~7mmの個体が分布した。そして、4時45分から日没直後の19時には、2mと5mでの仔魚の全長組成はほぼ同様であった。しかし、21

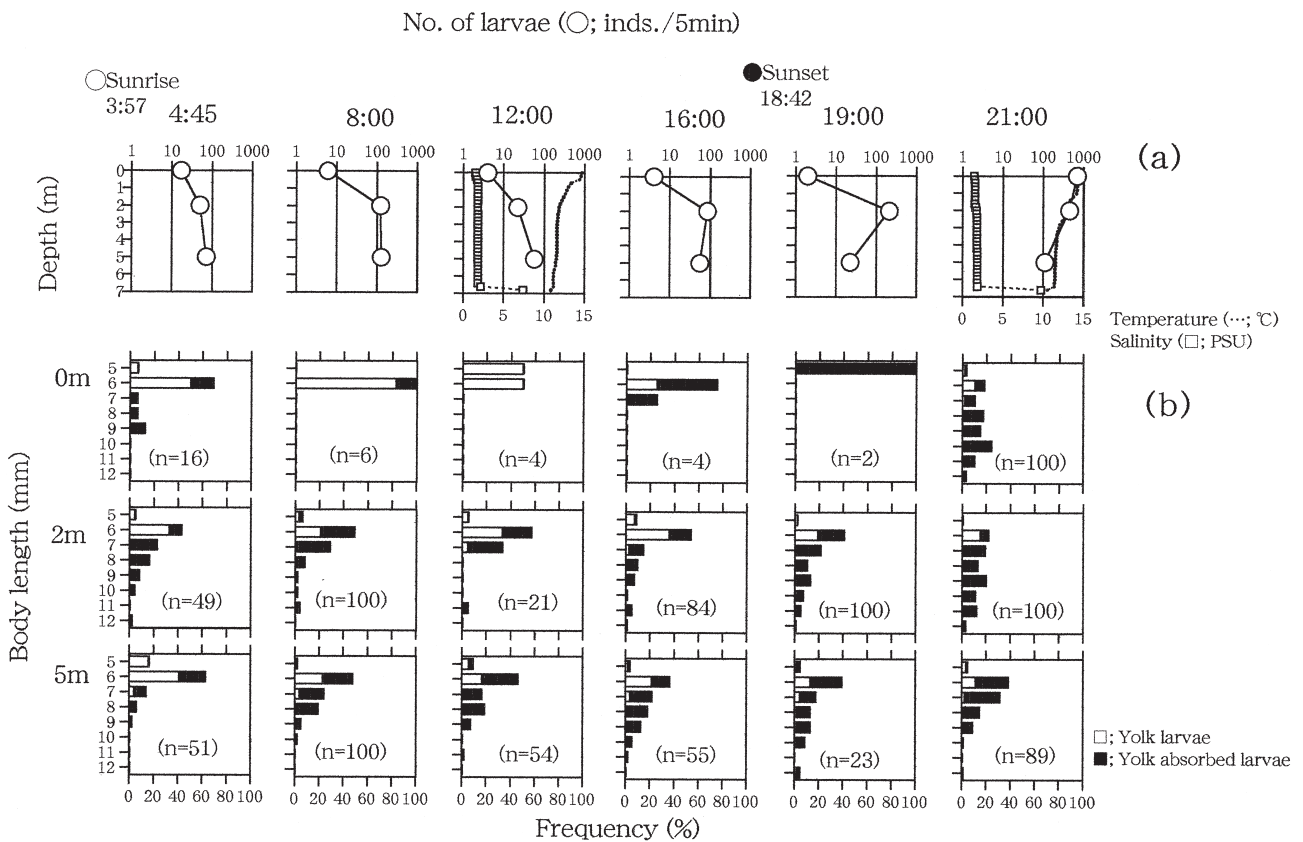


Fig.18 Diel changes in the abundance of smelt larvae at 0, 2, 5m depth (a), frequency of body length distributions in each depth (b) at St.9' (7m depth) on May 15 in 1998. Water temperature and salinity were measured at 12:00 and 21:00 and superimposed on (a).

時には各深度ともに4~12mmの仔魚が分布した。

このように、1日を通した鉛直分布の観察から、仔魚は日中は深層に分布し、日没と同時に表層へと移動し、夜間には圧倒的に表層に多く分布するといった日周鉛直移動を行うことが示唆された。さらに、この日周鉛直移動はある特定の体長の個体に限られた行動ではなく、広い体長範囲で観察された。ワカサギ仔魚には日周鉛直移動という極めて能動的な行動が孵化直後から発現されていることが明らかとなった。

3.3. 鉛直分布と摂餌との関係

仔魚の摂餌個体の出現率は、早朝(4時45分)、昼間(12時)および夜間(21時)で明らかに異なり、どの採集深度でも夜間(21時)に増加した(Fig. 19)。すなわ

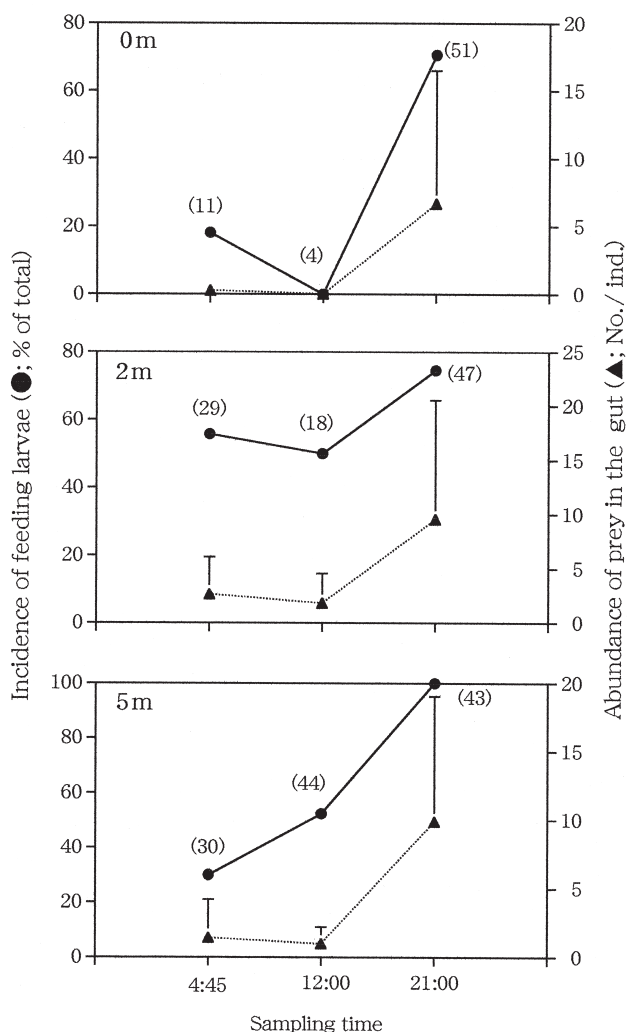


Fig. 19 Percent abundance of the larvae in feeding against the total number of the larvae, and abundance of prey organisms in the gut of the larvae, as observed at 0, 2 and 5m depth at St.9' (7m depth) on May 15, 1998. The number of the larvae examined is shown in parentheses. Error bars are mean + S.D.

ち、早朝から夜間にかけての摂餌個体の出現率は、0mでは4時45分と12時には0~18%であったのに対し、21時には71%と増加した。また、2mでは4時45分と12時には50~56%であったのに対し、21時には75%となった。さらに、5mでは4時45分と12時の30~52%から、21時には100%と増加した。同様に、仔魚の消化管内容物の平均個体数も、どの深度でも21時に急激に増加した。すなわち、0mでは4時45分から12時の0~0.3個体から21時には6.7個体、2mでは4時45分から12時の1.8~2.7個体から21時の9.6個体、5mでは4時45分から12時の1.0~1.4個体から21時の9.9個体まで、それぞれ増加していた。これらのことから、仔魚の日周鉛直移動は摂餌活動と何らかの関係があることが示唆された。

Table 9 abcに、それぞれ早朝(4時45分)、昼間(12時)および夜間(21時)に採集された仔魚の消化管内容物を、仔魚の体長(全長)を1mm毎に区切り、体長別および深度別に示した。いずれの採集時刻でも、仔魚の消化管内容物は輪虫類の*K. cruciformis*とその卵、カイアシ類ノープリウス期および*S. tenellus*であり、輪虫類の*K. quadrata*とその卵が4時45分と21時に若干出現した。なかでも、*K. cruciformis*とその卵は、どの採集時刻および採集深度でも最も良く利用された餌生物であった。次に良く利用されていたのはカイアシ類ノープリウス期であり、仔魚の消化管内容物は主にこの二者で構成されていた。さらに、前述した表層域で採集された個体と同様に、カイアシ類の*S. tenellus*は、より大型個体の消化管内に認められ、12時と21時に採集された8mm以上の個体でのみ観察された。

次に、早朝(4時45分)、昼間(12時)および夜間(21時)と3回の採集時刻における仔魚の鉛直分布と微小動物プランクトン総個体数密度、輪虫類総個体数密度、そして主な餌生物となった*K. cruciformis*とカイアシ類ノープリウス期の鉛直分布との関係について検討した(Fig. 20)。ここでは、深度別に、卵黄嚢を吸収して外部栄養に依存する仔魚の個体数を、仔魚の全採集個体数×(1-卵黄嚢保有個体出現率)から推定した(Fig. 20a)。前述のように、仔魚は日中は5mに多く分布し、夜間にはこれが逆転し圧倒的に0mに分布する。一方、微小動物プランクトン総個体数密度は、各採集時刻ともに2mに多く分布し、その分布密度は4時45分には 1.4×10^4 個体/ℓ、12時には 2.2×10^4 個体/ℓ、21時には 1.3×10^4 個体/ℓであった(Fig. 20b)。輪虫類および仔魚が最も良く摂餌した*K. cruciformis*の鉛直分布は、微小動物プランクトン総個体数密度のそれと同様であり、いずれの採集時刻でもその分布の中心は2mにあった。カイアシ類ノープリウス期はこれらよりも2桁少ない個体数密

Table 9-a Relative abundance (%) of item of preys in the gut of smelt larvae collected at 4 : 45 from 0, 2 and 5m depth on 15 May, 1998.

Depth(m)	Food items	Length group (mm)							
		4 to <5	5 to <6	6 to <7	7 to <8	8 to <9	9 to <10	10 to <11	11 to <12
0m	rotifers								
	<i>K. cruciformis</i>	0	100	50		0			
	<i>K. cruciformis</i> egg	0	0	50		0			
	No. of food items/larvae	0.00	0.14	1.00		0.00			
	No. of larvae examined	1	7	2		1			
2m	rotifers								
	<i>K. cruciformis</i>	0	50	63	47	52	40		0
	<i>K. cruciformis</i> egg	0	50	37	41	38	60		0
	<i>K. quadrata</i>	0	0	0	0	5	0		0
	<i>K. quadrata</i> egg	0	0	0	0	5	0		0
	copepods								
	copepod nauplii	0	0	0	12	0	0		0
	No. of food items/larvae	0.00	0.40	2.70	2.83	5.25	5.00		0.00
	No. of larvae examined	1	5	10	6	4	2		1
	5m	rotifers							
<i>K. cruciformis</i>		0	60	42	50	50			
<i>K. cruciformis</i> egg		0	40	53	25	50			
copepods									
copepod nauplii		0	0	5	25	0			
No. of food items/larvae		0.00	0.83	3.17	1.33	4.00			
No. of larvae examined		2	18	6	3	1			

Table 9-b Relative abundance (%) of item of preys in the gut of smelt larvae collected at 12 : 00 from 0, 2 and 5m depth on 15 May, 1998.

Depth(m)	Food items	Length group (mm)						
		4 to <5	5 to <6	6 to <7	7 to <8	8 to <9	9 to <10	10 to <11
0m	No. of food items/larvae	0	0					
	No. of larvae examined	3	1					
2m	rotifers							
	<i>K. cruciformis</i>	0	31	47				0
	<i>K. cruciformis</i> egg	0	19	20				0
	copepods							
	copepod nauplii	0	50	33				50
	<i>Sinocalanus tenellus</i>	0	0	0				50
	No. of food items/larvae	0.00	1.33	3.75				2.00
	No. of larvae examined	1	12	4				1
5m	rotifers							
	<i>K. cruciformis</i>	50	42	0	9	0		0
	<i>K. cruciformis</i> egg	50	23	0	9	0		0
	copepods							
	copepod nauplii	0	35	100	82	75		0
	<i>Sinocalanus tenellus</i>	0	0	0	0	25		100
	No. of food items/larvae	1.00	0.94	0.56	1.38	1.00		1.00
	No. of larvae examined	4	18	9	8	4		1

Table 9-c Relative abundance (%) of item of preys in the gut of smelt larvae collected at 21 : 00 from 0, 2 and 5m depth on 15 May, 1998.

Depth(m)	Food items	Length group (mm)							
		4 to <5	5 to <6	6 to <7	7 to <8	8 to <9	9 to <10	10 to <11	11 to <12
0m	rotifers								
	<i>K. cruciformis</i>		67	58	55	52	20	0	0
	<i>K. cruciformis</i> egg		30	30	36	41	16	0	0
	<i>K. quadrata</i>		0	0	0	1	0	0	0
	copepods								
	copepod nauplii		3	12	9	5	43	45	100
	<i>Sinocalanus tenellus</i>		0	0	0	1	20	55	0
No. of food items/larvae		2.86	8.25	14.80	19.13	2.31	1.50	1.00	
No. of larvae examined		14	4	5	8	13	6	1	
2m	rotifers								
	<i>K. cruciformis</i>		59	46	48	43	40	33	0
	<i>K. cruciformis</i> egg		30	42	28	40	40	25	0
	copepods								
	copepod nauplii		11	12	24	17	20	29	0
	<i>Sinocalanus tenellus</i>		0	0	0	0	10	13	100
	No. of food items/larvae		4.67	14.80	16.20	16.14	10.10	4.00	0.50
No. of larvae examined		12	5	5	7	10	6	2	
5m	rotifers								
	<i>K. cruciformis</i>	52	61	48	56	49			
	<i>K. cruciformis</i> egg	43	31	39	37	41			
	copepods								
	copepod nauplii	5	8	13	7	8			
	<i>Sinocalanus tenellus</i>	0	0	0	0	2			
	No. of food items/larvae	7.67	5.76	13.25	13.00	13.29			
No. of larvae examined	3	17	12	4	7				

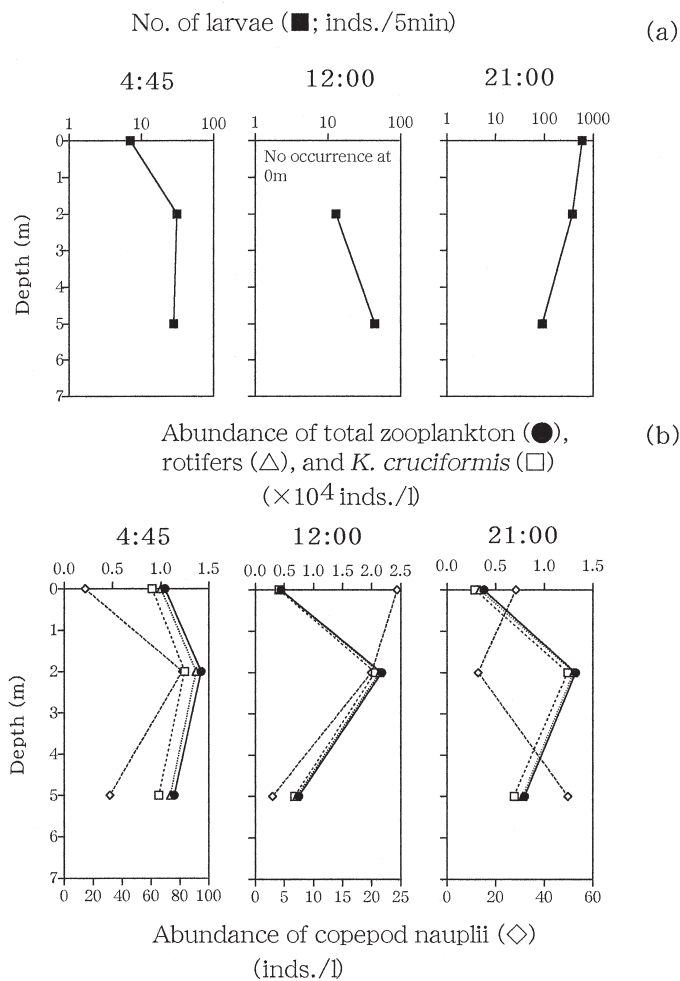


Fig.20 The vertical distribution of smelt larvae (a) and its main prey zooplankton including rotifers and copepod nauplii (b) at different times during a day.

度で分布し、4時45分には2mで80個体/ℓ、12時には表層で24個体/ℓ、21時には5mで51個体/ℓとその最大密度の深度は各時刻で異なった。しかし、いずれにしても仔魚と微小動物プランクトンの鉛直分布は一致することなく、微小動物プランクトンが濃密に分布する水深に、必ずしも仔魚は同時に分布することはなかった。

4. 飼育下における成長と摂餌

一般に、野外で採集された個体はネット逃避⁵³⁾、あるいは孵化日などの違いによって正確な成長速度の推定は難しいとされている。また、消化管が直線状のシラス型の仔魚では、採集時に加わる物理的ストレスにより消化管内容物が容易に排出され、仔魚の摂餌速度を過小に評価するとされており⁵⁴⁾、より正確な摂餌速度の推定は困難であると考えられている。そこで、本項では飼育によって確実に同一日に孵化した個体を追跡して、成長を調べるとともに、摂餌についても摂餌選択性や日間摂餌率などを推定し、成長と摂餌の関係を定量的に検討した。

4.1. 成長

仔魚の孵化は5月11日に確認された。仔魚は孵化後、4日目の5月15日には卵嚢を消失した (Fig. 21a)。5月11日の仔魚の体長頻度分布は平均体長5.7mmの単峰分布

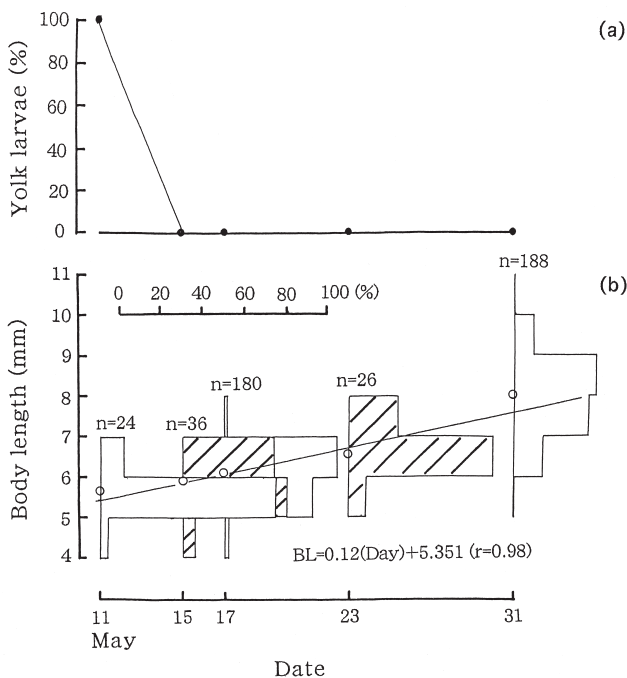


Fig.21 The proportion of yolk larvae in the total larvae (a) and body length distributions of smelt larvae in experimental tank (b). Open circles denote mean body length. Regression equation of days after hatching on BL is superimposed.

Table 10 Zooplankton abundance (inds./ℓ) and its taxonomic composition (%) in the experimental tank as examined on May 17 and May 31, 1995.

Sampling date	May 17	May 31
Group and species		
Protozoa	1050(41.34)	100(7.35)
Rotifera		
<i>Keratella cruciformis</i>	910(35.83)	980(72.06)
<i>K. cruciformis</i> egg	150(5.91)	30(2.21)
<i>Notholca</i> spp.	10(0.39)	50(3.68)
others	0(0.00)	10(0.74)
other eggs	140(5.51)	20(1.47)
Copepoda		
copepod egg	0(0.00)	20(1.47)
copepod nauplii	90(3.54)	10(0.74)
<i>S. tenellus</i>	190(7.48)	140(10.29)
Total	2540	1360

であった (Fig. 21b)。その後、5月15日は平均体長5.9mm、5月17日には6.1mm、5月23日には6.6mm、5月31日には8.0mmまで成長した。仔魚の平均体長の推移は、5月11日を基点とした飼育経過日数に対して直線的であり、その成長速度は約0.12mm/日であった。

4.2. 消化管内容物および摂餌選択性

飼育水槽内の動物プランクトン総個体密度は、5月17日は2,540個体/ℓ、5月31日は1,360個体/ℓであった (Table 10)。5月17日には、原生動物が1,050個体/ℓ (全体の41%)、*K. cruciformis*が910個体/ℓ (全体の36%)と優占した。しかし、5月31日には原生動物は100個体/ℓまで減少し (全体の7%)、これに対して*K. cruciformis*は980個体/ℓ (全体の72%)と依然優占していた。

5月17日と5月31日に、それぞれ合計93個体および82個体の仔魚の消化管内容物を観察した (Table 11)。ここでは、仔魚の体長 (全長) を1mm毎に区切り、各体長範囲における仔魚1個体当たりの平均消化管内容物個体数組成を示した。両調査日ともに体長によらず、仔魚の主要な消化管内容物の多くは、輪虫類の*K. cruciformis*とその卵であり、常に消化管内容物総個体数の90%以上を占めた。その他には、輪虫類の*Notholca* sp.とカイアシ類の卵、ノープリウス期なども出現したが、*K. cruciformis*の出現率と比較して少なかった。この仔魚の消化管内容物組成と飼育水中の動物プランクトン組成 (Table 10) から、飼育下での仔魚の摂餌選択性 (Electivity index) を調べた (Table 12)。その結果、仔魚はどの体長においても*K. cruciformis*の卵に高い選択性を示し、イブレフの選択指数は5月17日には0.70~0.77、5月31日には0.58~0.65という値が得られた。

Table 11 Gut contents composition (%) of smelt larvae reared in the experimental tank, and examined on May 17 and 31, 1995.

Date	Food items	Length group (mm)					
		4 to <5	5 to <6	6 to <7	7 to <8	8 to <9	9 to <10
May 17	rotifers						
	<i>K. cruciformis</i>	67	65	61	50		
	<i>K. cruciformis</i> egg	33	34	36	44		
	copepods						
	copepod egg	0	0	1	0		
	copepod nauplii	0	1	2	6		
	No. of food items /larvae	4.50	9.71	15.82	18.00		
	No.of larvae examined	2	35	55	1		
May 31	rotifers						
	<i>K. cruciformis</i>			90	89	90	91
	<i>K. cruciformis</i> egg			9	10	9	8
	<i>Notholca</i> spp.			0	1	1	0
	copepods						
	copepod egg			0	0	0	1
	copepod nauplii			1	0	0	0
	No. of food items /larvae			21.14	32.44	49.84	56.13
No.of larvae examined			7	27	38	8	

Table 12 Ivlev's electivity index of smelt larvae on rotifers and copepods in the experimental tank on May 17 and 31, 1995.

Date	Food items	Length group (mm)					
		4 to <5	5 to <6	6 to <7	7 to <8	8 to <9	9 to <10
May 17	rotifers						
	<i>K. cruciformis</i>	0.30	0.29	0.27	0.17		
	<i>K. cruciformis</i> egg	0.70	0.71	0.72	0.77		
	copepods						
	copepod egg			1.00			
	copepod nauplii	-1.00	-0.60	-0.32	0.22		
	No. of food items /larvae	4.50	9.71	15.82	18.00		
	No.of larvae examined	2	35	55	1		
May 31	rotifers						
	<i>K. cruciformis</i>			0.11	0.11	0.12	0.12
	<i>K. cruciformis</i> egg			0.62	0.65	0.60	0.58
	<i>Notholca</i> spp.			-1.00	-0.73	-0.89	-1.00
	copepods						
	copepod egg			-1.00	-1.00	-1.00	-0.74
	copepod nauplii			-0.04	-1.00	-1.00	-1.00
	No. of food items /larvae			21.14	32.44	49.84	56.13
No.of larvae examined			7	27	38	8	

4.3. 日間成長率, 日間摂餌率および総成長効率の推定

第2章第2節3でも述べたように, 仔魚の摂餌率を知るためには, ある時間内における消化管内容物の時刻変化と消化管内容物通過時間を知る必要がある。ここでは, 消化管内容物を乾燥重量で表すために, 消化管内容物として出現した餌生物の平均乾燥重量をその平均サイズと平均体積から推定した (Table13)。

5月17日に消化管内容物を観察した個体の平均体長は約5.9~6.3mmであり, 時刻による調査個体の体長には統計的に有意な差は認められなかった (Kruskal-Wallis test, $P > 0.05$) (Fig. 22a)。同様に, 5月31日には調査個体の体長は7.8~8.4mmであり, 各時刻で統計的に有意な差は認められなかった (Kruskal-Wallis test, $P > 0.05$)。仔魚の平均消化管内容物重量は, 5月17日には0.57~0.78 μg , 5月31日には1.8~3.3 μg であった (Fig. 22b)。そして, 仔魚の消化管内容物重量から推定した調査時間範囲内の仔魚の摂餌活動には, 明瞭な日周期性は認められなかった。しかし, 調査時間が9時15分から17時とより長かった5月31日には, 11時15分に1.8 μg , 15時に3.3 μg と統計的に有意な差が認められた (Post-hoc test, $P < 0.05$)。両日も, 仔魚の消化管内容物組成はほとんどが*K. cruciformis*とその卵で構成されており, この2者で常に90%以上を占めた (Fig. 22c)。しかし, 5月17日には夕刻近い17時10分にはノープリウス期の組成率が12.8%を占めて増加した。

消化管内容物通過時間の推定のために供された仔魚の体長は, 5月17日には5.1~7.0mm (平均6.1mm), 5月31日には6.3~9.9mm (平均8.0mm)であった (Fig. 23)。また, 水温は5月17日には10.5 $^{\circ}\text{C}$, 5月31日には12.0 $^{\circ}\text{C}$ であった。Fig. 23には, 両日のそれぞれの時刻 (T) に固定された仔魚の消化管内容物重量 (W) をプロットし, その平均値を直線回帰式に適合させて, 消化管内容物重量が減少していく様子を示した。その結果, 5月17日には $W = -0.201T + 0.732$ ($r = 0.99$, $P < 0.05$), 5月31日には $W = -0.374T + 1.563$ ($r = 0.98$,

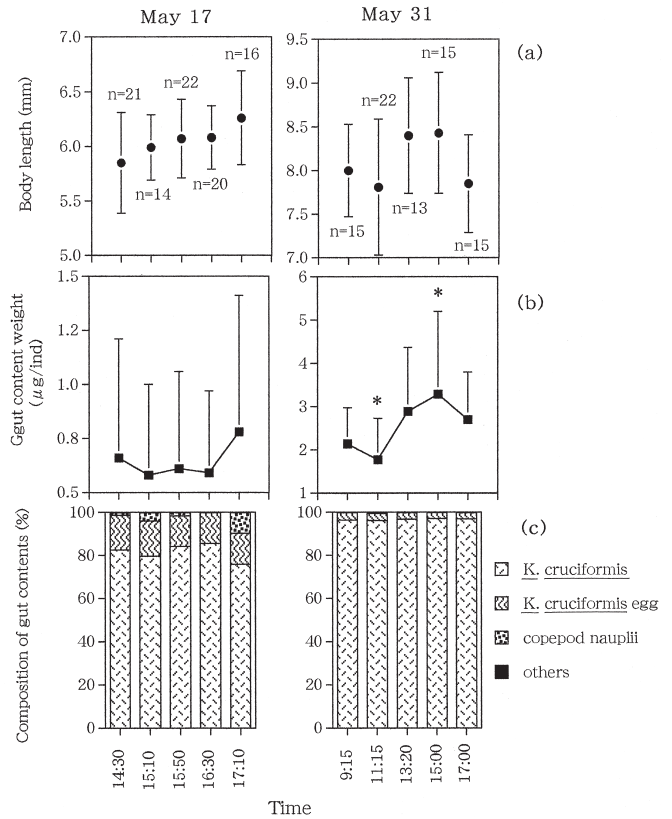


Fig.22 Average body length (a), average gut content weight (b), and composition of gut contents of smelt larvae at each different time in experimental tank on May 17 and 31, 1995. Symbol (*) in (b) means the significant difference ($P < 0.05$, Post-hoc test)

$P < 0.05$) の回帰直線が得られ, 両者の回帰直線は統計的に有意に異なった (ANCOVA, $P < 0.05$)。そして, これらの回帰直線の傾きを消化管通過速度 (c) とし, その逆数 ($1/c$) を消化管通過時間とした。その結果, 消化管通過時間は5月17日には $1/0.201 = 5.0$ 時間, 5月31日には $1/0.374 = 2.7$ 時間となった。

最後に, これらの各推定値から, 5月17日と5月31日の仔魚の日間摂餌量 (Daily ration) と, 飼育期間中の日間成長率 (Daily growth rate; g), 日間摂餌率 (Daily

Table 13 Estimations of dry weights of prey zooplanktons in the gut of smelt larvae reared in experimental tank, as examined on May 17 and 31 in 1995.

Species	N	Average size (μm)	Volume ($\times 10^6 \mu\text{m}^3$)	Dry weight (μg)
<i>Keratella cruciformis</i>	48	142	0.63	0.063
<i>K. cruciformis</i> egg	14	73	0.20	0.020
<i>Notholca</i> sp.	5	218	0.36	0.036
copepod egg	1	70	0.18	0.018
copepod nauplii	8	198	1.02	0.102

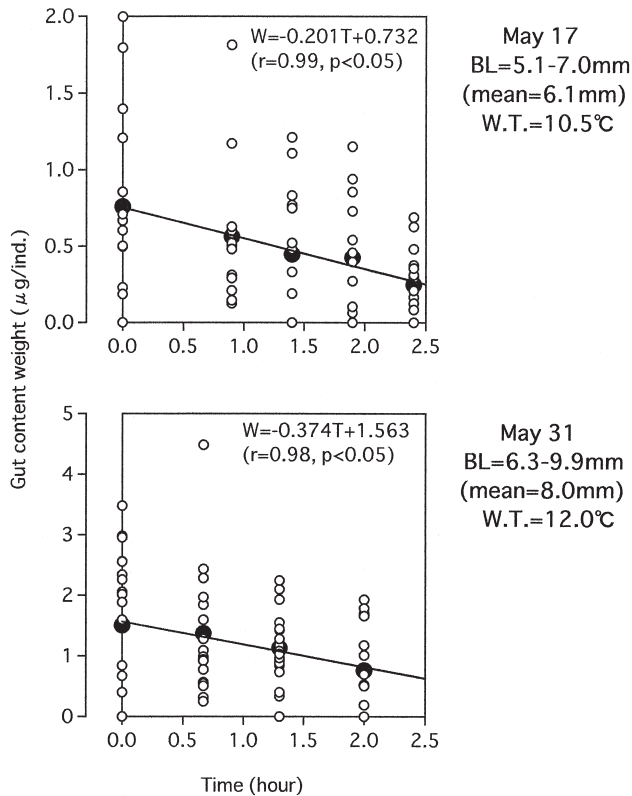


Fig.23 Changes with time in gut content weight of smelt larvae starved under the constant water temperature. Closed circles denote means. Regression equations calculated are superimposed in each experiment.

feeding rate ; f)および総成長効率(Gross growth efficiency ; K_1)を推定した (Table14)。飼育下における5月17日と5月31日の仔魚の平均体長は、それぞれ6.04mmと8.08mmであった (Fig. 21)。これらの体長を乾燥重量に換算すると、5月17日には $21.4\mu\text{g}$ 、5月31日には $59.8\mu\text{g}$ となる。この間の日間成長率 (g ; %)は6.76%であった。先に求めた消化管内容物通過時間 (5月17日は5.0時間、5月31日は2.7時間)と各時刻での消化管内容物重量とから (Fig. 22), 1時間当たりの摂餌速度を求めるとそれぞれ、5月17日には $0.16\mu\text{g}/\text{時}$ 、5月31日には $1.04\mu\text{g}/\text{時}$ となる。ここで、仔魚の主な摂餌時間を夜間の12時間と仮定して (第3章第1節3.3), 仔魚1個体当たり、1日当たりの摂餌量は5月17日には $1.92\mu\text{g}/\text{日}$ 、5月31日には $12.48\mu\text{g}/\text{日}$ と推定された。最後に、これらの値を体重で除して日間摂餌量 (Daily ration)を求めると、5月17日には8.97%、5月31日には20.87%と推定された。また、この間の日間摂餌率 (f ; %)は17.73%であった。そして、総成長効率 (K_1 ; %)は、 $g/f=38.1\%$ と推定された。

5. 考察

5.1. 分布生態

仔魚の表層水平分布および体長組成の時期別推移には一定の傾向が観察されず、唯一、孵化後間もないと考えられた5月中下旬に、流入河川近くに卵黄嚢を持つ個体が比較的多く分布したことが特徴的であった (Fig. 11)。

Table 14 Summary of the experiments for estimating daily rations and gross growth efficiency of smelt larvae.

Date	May 17	May 31	May 17~May 31
No. of individuals (inds.)	93	80	
Mean body length (mm)	6.04	8.08	
Body dry weight (μg DW)*	21.4	59.8	$g=6.76\%^{(1)}$
Excreting rate of gut contents (c: /hour)**	0.201	0.374	
Passing time of gut contents (T: hour)***	4.98	2.67	
Amount of food consumption during experimental time(μg)****	0.43	8.09	
Experimental time (hour)	2.67	7.75	
Ingestion rate ($\mu\text{g}/\text{hour}/\text{ind.}$)	0.16	1.04	
Ingestion rate ($\mu\text{g}/\text{day}/\text{ind.}$)*****	1.92	12.48	
Daily ration (%)	8.97	20.87	$f=17.73\%^{(2)}$
Gross growth efficiency (K_1 ; %)			$K_1=(g/f) \cdot 100=38.1\%^{(3)}$

*Dry weight was calculated from $DW=3.67 \times 10^{-5} (BL)^{3.54}$

**c are estimated from regression equations in Fig. 23.

***T = 1/c

****I = $(S_t - S_0 e^{-ct}) / (1 - e^{-ct})$

S_0 : Weight of gut contents at $t=0$, S_t : Weight of gut contents at $t=t$

c: Excreting rate of gut contents

*****Feeding time was assumed 12 hours.

(1) Daily growth rate (g ; %) = $(\Delta G/t \cdot W) \cdot 100$, $\Delta G=59.8-21.4=38.4$, $W=(21.4+59.8)/2=40.6$, $t=14$

(2) Daily feeding rate (f ; %) = $(\Delta F/t \cdot W) \cdot 100$, $\Delta F=(21.4 \times 0.0897 + 59.8 \times 0.2087) \times 14/2=100.8$, $W=(21.4+59.8)/2=40.6$, $t=14$

(3) Gross growth efficiency (K_1 ; %) = $(g/f) \cdot 100 = (6.76/17.73) \cdot 100 = 38.1$

これまで、網走湖産ワカサギ仔魚の表層水平分布については、鳥澤¹⁰⁾や虎尾³⁰⁾がその詳細を報告している。鳥澤¹⁰⁾は、仔魚の水平分布の特徴として、仔魚は孵出時期に相当する5月の調査時期には、ほとんどの場合流入河川近くに偏って分布するが、その後は特に一定した傾向が観察されなかったことを挙げている。その後、虎尾³⁰⁾は発育段階も考慮して仔魚の水平分布を考察した結果、それぞれの発育段階は湖内全域で同時期に出現し、仔魚の分散には発育段階に伴う分布の方向性はなく、発育とともに生息空間を移動することはないと結論した。これら二つの研究では環境要因との関係には触れていないが、本研究では表層域での仔魚の分布と、水温、塩分、クロロフィルa量および微小動物プランクトン総個体数密度などの環境要因との関係も検討した結果、特に密接な相関関係は認められなかった (Table 7)。一般に、海産仔魚の平均的な遊泳力は概ね1.0×体長/秒程度と考えられている⁵⁵⁾。この程度の遊泳力は水平方向の海水流動のスケールに比べると、ほとんど無視され得るものであり⁵⁶⁾、仔魚の水平分布は物理的な受動的輸送に影響されると考えられる。

網走湖はもとより他の水域におけるワカサギ仔魚の鉛直分布に関しては、これまで詳しく調べられた例はない。本研究では、仔魚の鉛直分布は昼夜で大きく異なり、仔魚は日中は深層に分布し、夜間はこれが逆転して表層に分布することを観察した (Fig. 16, 18)。さらに、湖央地点で日中に水温と塩分とから見た物理構造との関係で仔魚の鉛直分布を調べた結果、仔魚は塩分躍層直上に集積して分布する傾向が認められた (Fig. 17)。湖岸地点では、塩分躍層直上域での採集は行わなかったが、おそらく湖央地点同様に、仔魚は日中は塩分躍層直上に分布していると推定される。仔魚の鉛直分布の時刻変化は夕刻に徐々に始まり、日没後には急激に変化する日周鉛直移動であることが明らかとなった (Fig. 18)。この日周鉛直移動は孵化後間もない卵黄嚢を持つ個体でも認められ、かつまたどの体長でも認められた。海産魚類のニシン仔魚⁵⁷⁾、カタクチイワシ仔魚^{58, 59)}などでは、日中は深層に分布し、夜間は表層に浮上するという行動が観察されている。この要因として、ニシン仔魚では光環境の変化への同調、カタクチイワシ仔魚ではウキブクロの機能形成とともにこの行動が顕著になるとされている。一方、イカナゴ仔魚では逆に、日中は浅層で摂餌を行い、夜間は摂餌を停止して深層へ沈降するという行動も知られている⁶⁰⁾。しかし、これらの魚種の日周鉛直移動が卵黄嚢吸収後の後期仔魚期に顕著になるのに対して、ワカサギ仔魚では卵黄嚢を保有した前期仔魚期に既に日周鉛直移動が認められるという特徴がある。セントローレン

ス河口域におけるキュウリウオ仔魚 (*Osmerus mordax*) では、卵黄嚢を持つ個体が日中は底層、夜間は表層に分布する日周鉛直移動を行い、この行動は光環境と潮流の二つの要因で説明されている⁶¹⁾。網走湖産ワカサギ仔魚の日周鉛直移動は明らかに昼夜といった光環境に同調しており、鉛直移動の要因として光環境は重要な要因の一つと考えられた。一方、水温と塩分は昼夜で大きく異なることはなく、湖内の好気層には潮流の影響はほとんどない。さらに、仔魚の鉛直移動の適応的意義として、鉛直移動は餌生物との遭遇の機会を高めることにより、仔魚の生残に有利に働くという考え方がある⁶²⁾。ワカサギ仔魚でも摂餌個体の出現率、および仔魚の消化管内容物個体数は、仔魚の鉛直分布が大きく変化した夜間に顕著に増加した (Fig. 19)。しかし、仔魚は餌生物が最も多く分布する水深に留まることなく、餌生物と仔魚との最大個体数密度の分布水深は必ずしも一致しなかった (Fig. 20)。このことから、ワカサギ仔魚の日周鉛直移動は餌を求めての能動的な探索行動というよりは、光環境に同調した内因的な行動であり、この行動が結果として餌生物との遭遇の機会を高めているものと考えられる。

この他、魚類仔魚の鉛直移動の要因の一つとして、大型捕食者からの逃避が知られている^{63, 64)}。本研究では、ワカサギ仔魚の鉛直分布の調査時に、大型動物プランクトン、*Neomysis intermedia* (イサザアミ) が採集されている。*N. intermedia*は汽水性のアミ類であり、網走湖では周年を通して出現する⁶⁵⁾。*N. intermedia*は霞ヶ浦でも卓越し、日中は湖岸帯の近底層に集積し、夜間は沖帯の全層に一様に分布する⁶⁶⁾。さらに、ワカサギ仔魚の重要な捕食者であることも知られている⁶⁷⁾。そこで、本研究で得られた*N. intermedia*とワカサギ仔魚との鉛直分布について考察してみる。1997年の昼夜3回の調査では、*N. intermedia*は日中は0~5mには全く出現しなかったが、夜間には2~5mに出現した (Fig. 24)。また、1998年の調査でも早朝(4時45分)から夕方(16時)には出現しなかったが、日没後から夜間(19時~21時)にかけては2~5mに出現した。ワカサギ仔魚の鉛直分布は*N. intermedia*のそれとは対照的に、*N. intermedia*が5mまで浮上した時には2m以浅に多く分布していた (1997年5月13日と5月26日、1998年19時の例)。また、*N. intermedia*が2mまで浮上した時には、仔魚は表層に最も多く分布していた (1998年21時の例)。1997年6月の1例のみ夜間に仔魚と*N. intermedia*の分布が重なったが、これを除いて、5月における夜間の仔魚の鉛直的な動きは、*N. intermedia*との分布層との重複を避けている可能性が示唆された。しかし実際、*N. intermedia*にワカ

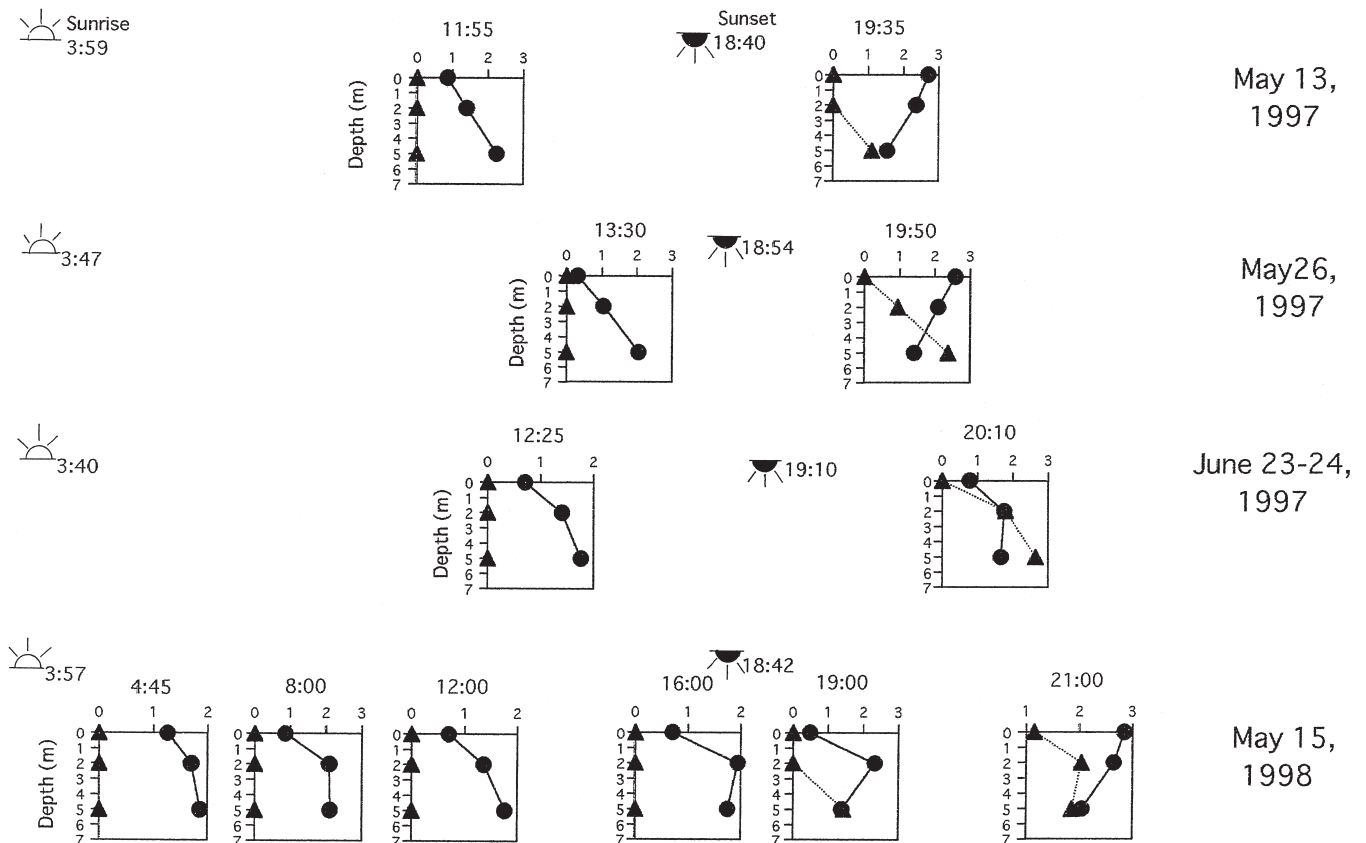
Log (No. of smelt larvae +1) and Log (No. of *Neomysis intermedia* adults +1) (inds./5min.)

Fig.24 Vertical distribution patterns of smelt larvae and its potential predator *Neomysis intermedia* adults at St.9 (7m depth) in May, June 1997 and May 1998. Closed circles (●) and closed triangles (▲) denote the number of smelt larvae and *N.intermedia*, respectively.

サギ仔魚が捕食されているかどうかを、1998年5月15日の19時(5m)と21時(2m)に採集した個体で観察した結果、主に大量の輪虫類が観察された(Table15)。このことから、網走湖においては*N. intermedia*はワカサギ仔魚の直接的な捕食者というよりも、輪虫類を巡る競争種として、間接的に仔魚に影響を及ぼしていることが考えられた。

5.2. 摂餌生態

網走湖産ワカサギ仔魚の主要な消化管内容物は、輪虫類、ノープリウス期を含むカイアシ類であり、なかでも輪虫類の*K. cruciformis*とその卵、カイアシ類の*S. tenellus*は重要な餌生物であった(Table 8)。この他に、1996年には輪虫類の*Brachionus* sp.も重要な餌生物となり、仔魚は*K. cruciformis*の衰退後、環境中に最も優占した*Brachionus* sp.(Table 8)を摂餌していた。これまで、ワカサギ仔魚の消化管内容物を観察した例は、小川原湖⁵⁾、諏訪湖⁶⁸⁾、霞ヶ浦^{28,69)}、河口湖⁷⁰⁾、阿寒湖⁷¹⁾などがあり、これらの各湖沼に生息するワカサギ仔魚の消化

管内容物を比較検討した(Table16)。ここでは、それぞれの文献に記述されている体長毎の消化管内容物を概ね体長10mmを境に区切って示した。その結果、体長10mm以下の個体は輪虫類およびカイアシ類のノープリウス期を摂餌し、成長につれて枝角類やカイアシ類などの甲殻類プランクトンへと餌生物を替えていくことがワカサギ仔魚の共通の摂餌習性として指摘できる。Turner⁷²⁾によれば、海産魚類仔魚の70%以上が初期餌料としてカイアシ類ノープリウス期を摂餌し、ノープリウス期の餌生物としての重要性はワカサギ仔魚にも当てはまる。また、枝角類やカイアシ類はワカサギ仔魚が最初に摂餌する輪虫類やノープリウス期よりもそのサイズは大きく、仔魚の餌生物のシフトは同時に餌サイズの大型化をも意味する。成長に伴う餌サイズの大型化が、ワカサギ仔魚にとって普遍的な摂餌習性であるならば、生息環境中の動物プランクトンの変動もまた、小型の動物プランクトンである輪虫類やノープリウス期から、より大型の動物プランクトンである枝角類やカイアシ類へとシフトすることが、仔魚にとって極めて有利な餌料条件の一つとなるだ

Table 15 Stomach contents of *Neomysis intermedia* adults (♂+♀) collected at St.9' in Lake Abashiri on 15 May 1998. Prey organisms are expressed as individual numbers, and mean±SD were computed for each sex.

Sex	♂	♀
No. of stomachs examined	30	11
No. of empty stomach	0	3
Gut contents		
<i>Keratella cruciformis</i>	52.6±31.1	162.8±134.3
<i>K. quadrata</i>	22.2±14.8	48.7±50.0
<i>K. cruciformis</i> or <i>quadrata</i>	1.2±2.3	0
<i>Keratella</i> egg	6.9±5.4	18.7±23.0
copepods	0.3±0.5	0.6±0.9
Total (inds./ <i>Neomysis</i>)	83.2±45.4	230.9±201.7

ろう。網走湖において調査した3ヶ年のうち、1995年と1997年の2ヶ年は春季の動物プランクトンは輪虫類を主とした微小動物プランクトンからカイアシ類のより大型のものへとシフトしたが (Fig. 9), 1996年は微小動物プランクトンの衰退後もカイアシ類の増加は顕著ではなく、1996年の仔魚の消化管内容物中にはカイアシ類は観察されなかった (Table 8)。このように、ワカサギ本来の摂餌習性を実現できなかったと考えられる1996年は仔魚の生残率への影響も考えられ、このことについては後に詳述する。

飼育下において、仔魚は輪虫類の*K. cruciformis*の卵へ高い摂餌選択性を示した (Table 12)。*K. cruciformis*の雌成体は1個の卵を抱えている。Gliwicz⁷³⁾は、抱卵した枝角類がその目立ち易さ、あるいは抱卵していること

による逃避能力の低下のために、プランクトン食魚類に選択的に捕食されやすくなるとしている。おそらく、ワカサギ仔魚の*K. cruciformis*の卵への高い選択性は、卵そのものへの選択ではなく抱卵個体への選択的摂餌の現れであろうと考えられる。

飼育下における仔魚の消化管内容物は、野外で採集された仔魚のそれと同じく輪虫類の*K. cruciformis*が主なものであり、極めて単純であった (Table 11)。そして、飼育下での仔魚の平均消化管内容物個体数は体長が大きい程増加して、5月17日には4.5~18.0個体、5月31日には21.1~56.1個体であった。一方、ほぼ同時期に野外で採集された同一体長範囲の仔魚の平均消化管内容物個体数は、5月16日には0.1~0.7個体、5月30日には4.0~15.0個体であり (Table 8), いずれも飼育下の仔魚の平均消化管内容物個体数が多かった。また、鉛直分布の調査で消化管内容物個体数が増加した夜間の場合でも、最少2.3個体から最大19.1個体の範囲にあり (Table 9 c), これも飼育下の仔魚の消化管内容物個体数が多かった。仔魚が最も良く摂餌した*K. cruciformis*の飼育環境中の個体数密度は卵を含めて約 1.0×10^3 個体/ℓであり、野外での本種の平均分布密度 (1995年5月16日には $1.0 \sim 2.0 \times 10^3$ 個体/ℓ, 5月30日には $2.0 \sim 3.7 \times 10^3$ 個体/ℓ)と比較しても高くはない。このことから、野外で採集した個体の消化管内容物の個体数が少ないのは、採集時のストレスによる内容物の吐き出しや排出によることも否定できない⁵⁴⁾。しかし、飼育下では天然環境とは異なり、物理的な水の動きがほとんど無視できるという大きな違いがある。

ところで、飼育下では体をS字型に屈曲させている個

Table 16 Summary of gut contents of smelt larvae living in various lakes in Japan. The data are shown for two size groups (<10 and 10–20mm) of smelt larvae.

Lake	Type	<10 mm in body length	10–20mm in body length	Reference
Suwa	Fresh water	rotifers (<i>Brachionus</i>) copepod nauplii	cladocerans (<i>Bosmina</i>)	Yamagishi (1974)
Kasumigaura	Fresh water	rotifers (<i>Brachionus</i>) copepod nauplii	cladocerans (<i>Bosmina</i> , <i>Moina</i>) copepods (<i>Cyclops</i>)	Hori and Ida (1977) Konuma (1985)
Kawaguchi	Fresh water	copepod nauplii	copepod nauplii cladocerans (<i>Daphnia</i>)	Takahashi et al. (1994)
Akan	Fresh water	rotifers (<i>Polyarthra</i>) copepod nauplii	copepod nauplii copepod (<i>Eurytemora affinis</i>)	Asami and Sakamoto (2001)
Ogawara	Brackish water	rotifers (<i>K. cochlearis</i> , <i>Polyarthra</i>) copepod nauplii	cladocerans (<i>Bosmina coregoni</i>) copepods (<i>Sinocalanus tenellus</i>)	Sato (1954)
Abashiri	Brackish water	rotifers (<i>Keratella cruciformis</i>) copepod nauplii	rotifers (<i>Brachionus</i>) copepod nauplii copepods (<i>Sinocalanus tenellus</i>)	This study

体が多く観察される。この行動はニシン仔魚でも知られており、S-Shape行動と呼ばれる摂餌のための行動であり⁷⁴⁾、仔魚は視覚で餌生物を認知すると、S-Shape行動をとり餌生物へと突進する。突進速度は卵黄嚢を持つ個体では6 cm/秒、体長15mmのものでは25cm/秒と成長につれて増すとされる。しかし、摂餌は常に成功するとは限らず、例えばニシン仔魚の摂餌成功率は発育段階に依存して変化し、卵黄嚢吸収期では1%と低いが、孵化後3~4週間には20%へ増加する⁷⁴⁾。本研究では、飼育下で成長につれて仔魚の摂餌量が増大したことから (Table 11)、ワカサギ仔魚でも発育に伴って摂餌成功率が増すものと考えられる。また、野外でのより少ない消化管内容物個体数は、飼育下には存在しない環境中での乱流等による低い摂餌成功率の現れであるのかもしれない。

体長6~8mmのワカサギ仔魚の消化管内容物通過時間は、水温10.5~12.0℃で2.7~5.0時間と推定された (Table 14)。カイアシ類ノープリウス期を摂餌した体長4.7mmのスケトウダラ仔魚では、水温5.5℃で5時間という報告がある⁷⁵⁾。また、アルテミアを摂餌した孵化後3~9週間の大西洋ニシン仔魚では、水温9.2℃で3~5時間とされている⁷⁶⁾。これらは、仔魚の体長、餌生物、水温および推定方法などそれぞれ異なり、単純に比較はできないものの、ワカサギ仔魚の消化管内容物通過時間はこれらの魚種で報告された値に近いものであった。

孵化後20日間経過したワカサギ仔魚の日間成長率は6.76%と推定され、孵化後23日間経過したイカナゴ仔魚で報告された値の4.2%⁷⁷⁾に近かった。また、日間摂餌率については多くの海産仔魚で、人工種苗生産研究の一端として推定されており、例えばマダイ仔魚では48~75%^{78,79)}、ヒラメ仔魚では14.3~78.8%⁸⁰⁾、ワカサギと同じキュウリウオ科に属するアユ仔魚では17~19%であり⁸¹⁾、アユ仔魚の日間摂餌率がワカサギ仔魚で得られた値 (17.73%) に最も近かった。また、総成長効率については、カタクチイワシ仔魚では14~57%、太平洋ニシン仔魚では71%⁸²⁾という報告があり、ワカサギ仔魚で得られた値 (38.1%) は、カタクチイワシ仔魚のそれに近い値であった。

5.3. 環境と生残

春季の網走湖の水温と塩分は、年により統計的に有意な違いが認められ、1996年は他の年と比較して低水温かつ低塩分の傾向があった (Table 6)。網走地方気象台による5月の平均気温の観測によれば、1995年は11.5℃、1996年は6.4℃、1997年は7.9℃であり^{83~85)}、1996年の平均気温が低い。この低い気温が表層水温の低下に

つながったと考えられる。また、1997年の高塩分はこの年の5月4日に発生した青潮によるものである。塩分躍層の上限位置が水深5m前後にあり、平均風速が毎秒10m、瞬間最大風速が毎秒15m以上の強風が続くと青潮が発生しやすくなる³³⁾。1997年5月初めにも毎秒30m以上の強風が続き⁸⁵⁾、4日に湖奥域で青潮が発生した。青潮は5日夕方にはほぼ終息し、7日朝には完全に終息した⁸⁶⁾。青潮の発生は表層に高塩分水をもたらす他、嫌気層内に貯蔵された栄養塩類を表層まで湧昇させることにより植物プランクトン現存量を高くする³⁴⁾。一方で、貧酸素水塊が表層まで湧昇し、多くの生物の生残に重大な影響を及ぼすことも知られている。1997年のワカサギの孵化時期はこの青潮終息以後であり、ワカサギへの影響はなかったものと考えられる。

網走湖の春季の植物プランクトンサイズ組成は、低塩分であった1996年を除いて小型サイズのものが卓越した (Fig. 8)。また、春季には原生動物や輪虫類などのいわゆる微小動物プランクトン⁴⁴⁾が卓越した。これらは、甲殻類などと比べて微小であるため、個体数が多くても現存量としては動物プランクトン群集中、わずかな部分しか占めないが⁸⁷⁾、富栄養湖では貧栄養湖と比較して微小動物プランクトンは現存量において大きな割合を占めることが知られている⁸⁸⁾。網走湖における春季の微小動物プランクトンは、クロロフィルa量とほぼ同時に水温が10~15℃に達した時に増加し、水温がさらに上昇した時には衰退した (Fig. 9)。微小動物プランクトンの季節変動は、クロロフィルa量と水温との両者の変動と密接に関係すると考えられる。微小動物プランクトンの衰退後は、汽水性カイアシ類の*Sinocalanus tenellus*が急激にその個体数密度を増加させた。しかし、1996年の出現密度は低く、本種の増加は顕著ではなかった。本種の季節消長およびその要因については第3章第3節で詳しく取り上げるが、この年の低水温が本種の発育を遅らせた要因となったことが考えられる。また、ワカサギの受精から孵化に要する日数は水温と関係することが知られ²⁴⁻²⁶⁾、1996年の低水温はワカサギの孵化時期の遅れにもつながったことが考えられる。

本研究で、ワカサギ仔魚の卵黄嚢は孵化後4日目に消失することを飼育によって確認した。ワカサギ仔魚の卵黄嚢が消失するのに要する日数は、佐藤⁵⁾も4日と報告している。卵黄嚢の消失は内部栄養から外部栄養への移行を意味する。一般に、この時期に仔魚が餌生物と遭遇できるか否かが、卓越発生につながるかどうかの要因と考えられてきた^{12,13)}。網走湖におけるワカサギ仔魚の摂餌個体の出現率は、3ヶ年ともに卵黄嚢保有個体の出現率の減少とともに増加した (Fig. 14)。そして、卵黄嚢