

**Fig.25** Relation between survival index of smelt larvae and prey index. *S. tenellus* abundance was that when average body length of smelt larvae reached 10mm BL. The data of 1994 was cited from Torisawa<sup>10)</sup>.

消失時期と同時に仔魚が最も良く餌生物として利用した輪虫類が増加し、摂餌開始時期と餌生物の極大時期は極めて良く一致していたと考えられた。

3ヶ年の調査を通じて、摂餌開始時期以降の最も大きな餌環境の違いは、カイアシ類の*S. tenellus*の出現量であり、1996年は他の2年に比べて*S. tenellus*の出現量が少なかった。鳥澤<sup>10)</sup>によれば、卵から稚魚までの生残指数は、1995年級群が $90 \times 10^{-8}$ 、1996年級群が $37 \times 10^{-8}$ 、1997年級群が $110 \times 10^{-8}$ であり、1996年級群の生残指数が最も小さい。市川<sup>89)</sup>は、イカナゴ仔魚でカイアシ類を多く摂餌した個体と、それ以外の餌料を多く摂餌した個体の核酸比(RNA/DNA比)を比較すると、前者で有意に高いことを報告している。ワカサギ仔魚もカイアシ類を摂餌するか否かは栄養状態に反映し、生残にまでもその影響が及ぶことが考えられる。1996年級群の低い生残指数は、1996年春季のカイアシ類の低い出現量のため、ワカサギ仔魚がカイアシ類を摂餌できなかったことに因るのかもしれない。さらに、鳥澤<sup>10)</sup>はワカサギの産卵量と生残指数との間に有意な負の相関があることを認め、産卵数が多いと卵から稚魚に至るまでの減耗率が大きくなることを言及している。同様の現象は、小川原湖<sup>5)</sup>、霞ヶ浦<sup>90)</sup>、宍道湖<sup>91,92)</sup>などでも報告されている。このメカニズムは明らかにされていないが、魚類の初期生残を考察する上で、仔魚の個体群密度も重要な要因である。なぜなら、個体群密度は仔魚1個体が利用可能な餌生物量を決めるからである<sup>18)</sup>。今、体長が10mmに達したワカサギ仔魚が網走湖で最も優占するカイアシ類*S.*

*tenellus*を摂餌すると仮定する。そして、仔魚の平均体長が10mmに達したときの*S. tenellus*の個体数密度をその年のワカサギ産卵量で除して、仔魚1個体当たりが利用可能な*S. tenellus*の個体数を餌生物指数(Prey index)として求める。この値とその年のワカサギの生残指数との間には、極めて有意な正の相関関係が認められる(Fig. 25)。ワカサギ仔魚の個体群密度と餌生物個体数密度、およびこれら二つが決定する仔魚1個体当たりが利用可能な餌生物個体数も仔魚の生残に影響を及ぼしていることが考えられる。

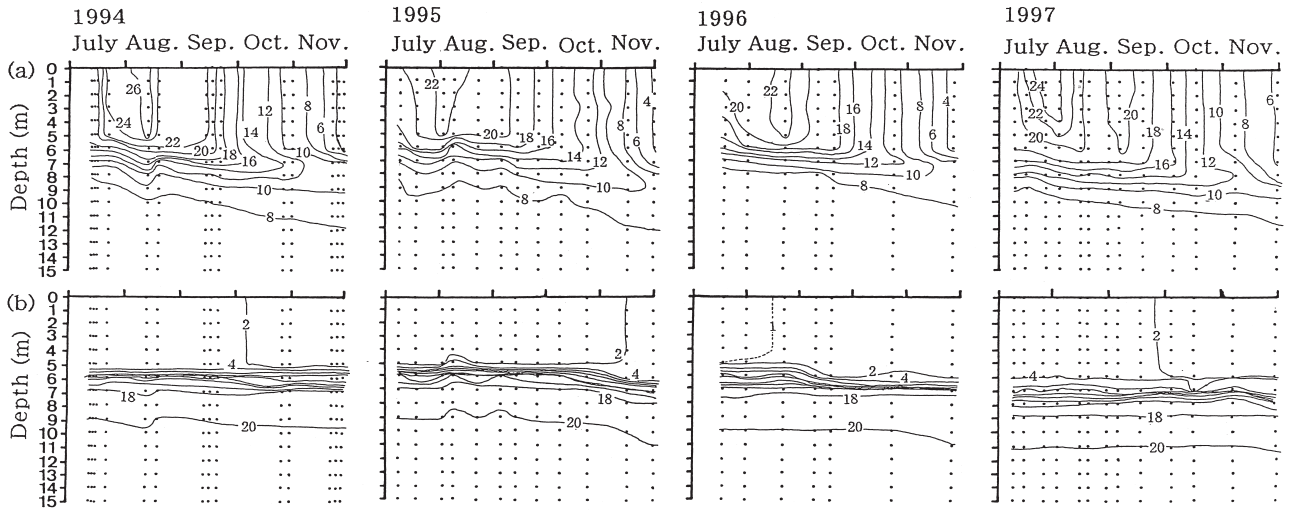
## 第2節 稚魚期の生活様式

### 1. 生息環境

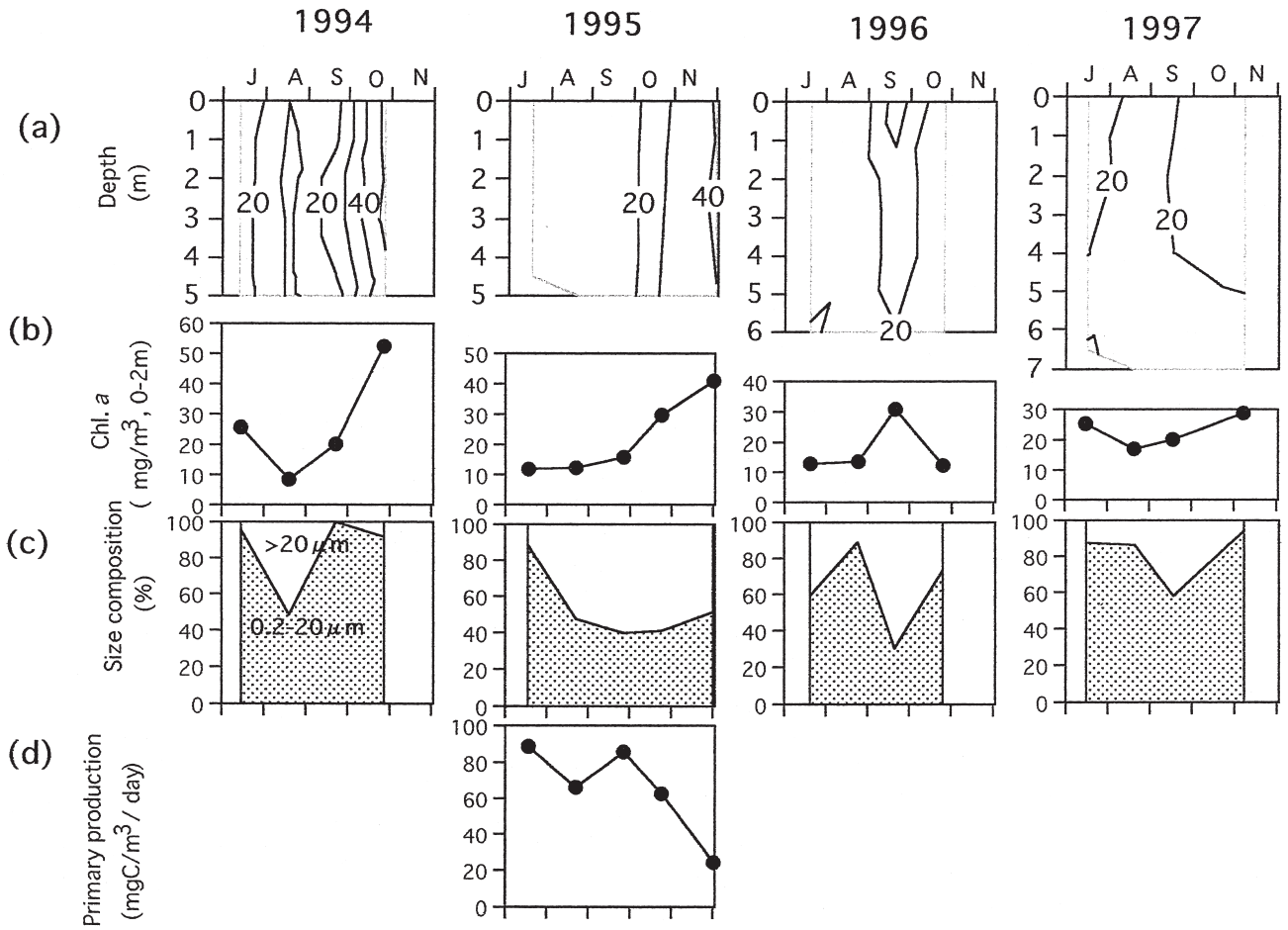
#### 1.1. 湖沼環境

水温は、4年間ともに7月から9月にかけて20℃以上の高水温期があり、10月以降は急速に低下した(Fig. 26 a)。7月から9月にかけての高水温期には、1994年、1995年および1996年は5~7m、1997年は6~8mに水温躍層が発達し、これ以浅では水温は鉛直的にほぼ一様であった。塩分はどの年も明瞭な塩分躍層が発達し、これ以浅では一様であり、1994年は1.5~2.0psu、1995年は1.0~2.0psu、1996年は0.5~1.5psu、1997年は1.5~3.0psuであった(Fig. 26b)。塩分躍層の深度は各年でそれぞれ異なり、1994年と1995年は5~6m、1996年は7月から8月には5~6m、9月以降は6~7m、1997年は6~7mであった。

クロロフィルa量はどの年も塩分躍層以浅で、20~40  $\mu\text{g}/\ell$ で鉛直的に均一に分布した(Fig. 27a)。クロロフィルaの0~2mの平均濃度は、1994年8月の最小8.5  $\mu\text{g}/\ell$ から1994年10月の最大52.4  $\mu\text{g}/\ell$ の間を変動した(Fig. 27b)。どの年もクロロフィルa量は7月から8月にかけて減少し、9月以降増加する傾向があった。クロロフィルa量のサイズ組成は4年間を通して0.2~20  $\mu\text{m}$ の小型サイズが平均69.6%、20  $\mu\text{m}$ 以上の大型サイズが平均30.6%であった(Fig. 27c)。クロロフィルa量のサイズ組成は、比較的高塩分であった1994年と1997年には、0.2~20  $\mu\text{m}$ 画分が平均でそれぞれ、84%と81%を占めたのに対し、低塩分であった1995年と1996年には平均でそれぞれ、54%と63%を占め、塩分環境の違いによってクロロフィルa量のサイズ組成に違いが認められた。基礎生産量は1995年のみ観測した(Fig. 27d)。基礎生産量は11月の24  $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{日}$ から7月の89  $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{日}$ の間を変動し、7月から11月までの平均は65  $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{日}$ であった。基礎生産量は高水温期の7月から9月には、66~89  $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{日}$ と高かったが、10月以降急激に減少した。



**Fig.26** Seasonal changes in temperature (°C) (a) and salinity (psu) (b) profiles at St.9 in Lake Abashiri from July to November in 1994 through 1997.



**Fig.27** Seasonal changes in chlorophyll *a* profile ( $>0.2\mu\text{m}$ ) (a), chl.*a* concentration in the top 2m (b), size composition of chl.*a* fraction (c), primary production in the top 2m (d) at St.9 in Lake Abashiri from July to November in 1994 through 1997.

**Table 17** Interannual variations in environmental factors at St.9 in each season between 1994 and 1997. NS: not significant ( $p > 0.05$ )

Season	Year	Environmental factors					
		W.T.	Salinity	Chl. <i>a</i>	cladocerans	copepods	crustacean
		(°C)	(psu)	(>0.2 μm; μg/l)	( $\times 10^3$ inds./m <sup>3</sup> )	( $\times 10^5$ inds./m <sup>3</sup> )	( $\times 10^5$ inds./m <sup>3</sup> )
	Mean±SD (No.)	Mean±SD (No.)	Mean±SD (No.)	Mean±SD (No.)	Mean±SD (No.)	Mean±SD (No.)	
July to Sep.	1994	22.0±2.7 (9)	2.4±0.2 (9)	16.2±7.9 (3)	57.22±98.45 (7)	0.62±0.51 (7)	1.19±1.06 (7)
	1995	20.8±1.8 (8)	1.3±0.2 (8)	12.0±0.5 (3)	3.26±2.79 (7)	1.13±0.66 (7)	1.16±0.65 (7)
	1996	20.6±1.7 (5)	1.0±0.2 (5)	18.5±8.3 (3)	5.37±4.72 (5)	1.07±0.62 (5)	1.12±0.65 (5)
	1997	21.4±2.8 (9)	2.6±0.3 (9)	20.2±3.2 (3)	2.36±2.64 (8)	1.03±0.62 (8)	1.05±0.64 (8)
	Significance	NS <sup>1)</sup>	S <sup>1)</sup>	NS <sup>2)</sup>	NS <sup>2)</sup>	NS <sup>1)</sup>	NS <sup>1)</sup>
Oct. to Nov.	1994	6.1±3.8 (5)	1.5±0.1 (5)	45.8 (1)	0 (3)	0.37±0.19 (3)	0.37±0.19 (3)
	1995	6.9±5.4 (4)	1.6±0.7 (4)	25.7±5.8 (2)	0.14±0.17 (4)	0.42±0.14 (4)	0.42±0.14 (4)
	1996	6.9±5.4 (2)	1.3±0.2 (2)	12.8 (1)	0.74±1.04 (2)	0.81±0.79 (2)	0.82±0.80 (2)
	1997	10.6±4.4 (4)	1.7±0.1 (4)	27.2 (1)	0.34±0.44 (4)	0.47±0.29 (4)	0.48±0.30 (4)
	Significance	NS <sup>1)</sup>	NS <sup>2)</sup>	NS <sup>2)</sup>	NS <sup>2)</sup>	NS <sup>1)</sup>	NS <sup>1)</sup>
July to Nov.	1994	16.3±8.4 (14)	2.1±0.4 (14)	23.6±16.1 (4)	40.05±85.00 (10)	0.54±0.44 (10)	0.94±0.96 (10)
	1995	17.1±6.3 (12)	1.4±0.4 (12)	17.5±8.0 (5)	2.12±2.67 (11)	0.87±0.63 (11)	0.90±0.63 (11)
	1996	16.7±7.2 (7)	1.1±0.2 (7)	17.1±7.4 (4)	4.05±4.49 (7)	0.99±0.61 (7)	1.03±0.64 (7)
	1997	18.1±6.1 (13)	2.3±0.5 (13)	22.0±4.4 (4)	1.69±2.34 (12)	0.84±0.59 (12)	0.86±0.61 (12)
	Significance	NS <sup>1)</sup>	S <sup>2)</sup>	NS <sup>1)</sup>	NS <sup>2)</sup>	NS <sup>1)</sup>	NS <sup>1)</sup>

1) One-way ANOVA ( $p=0.05$ )2) Kruskal-Wallis test ( $p=0.05$ )

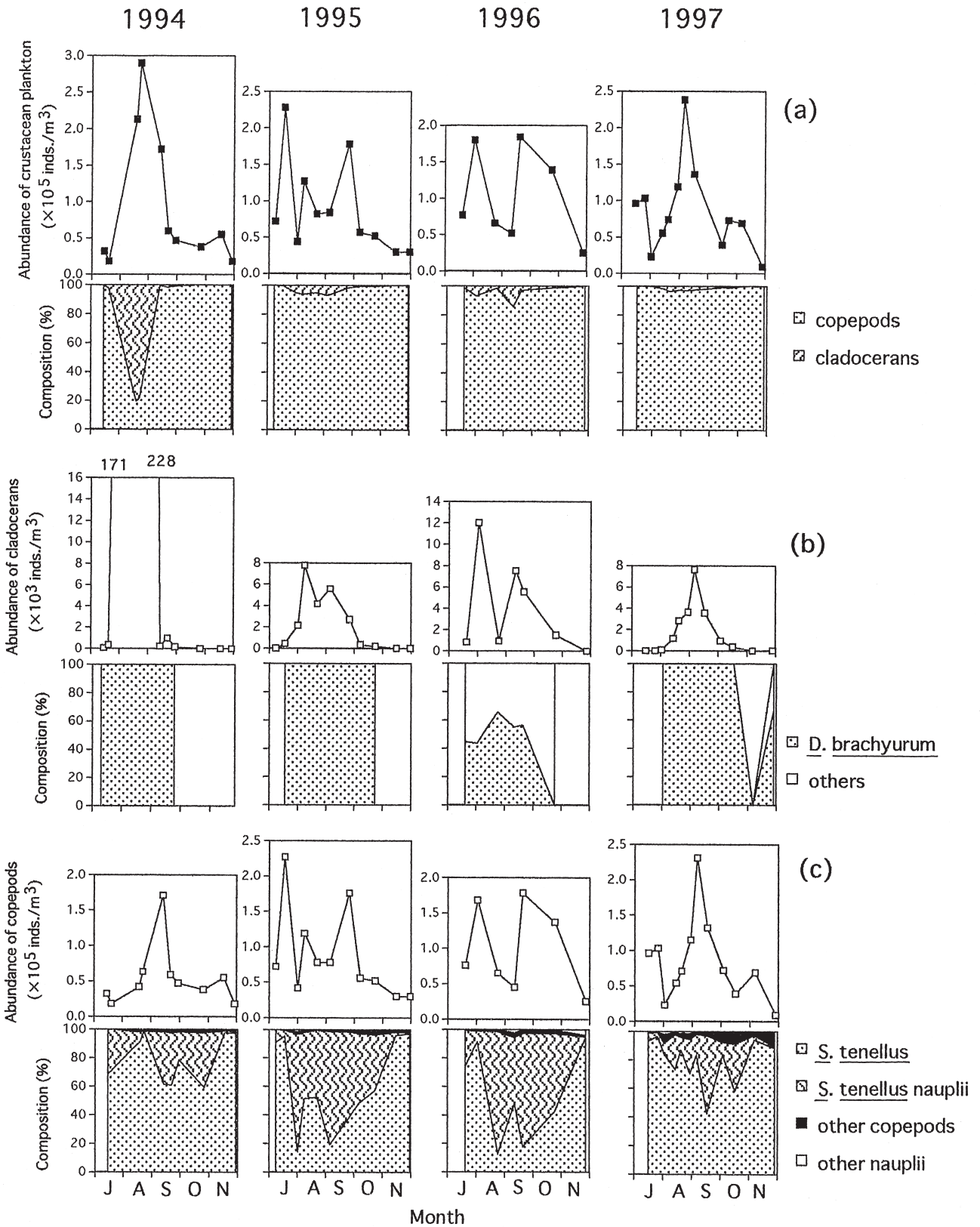
甲殻類プランクトン個体数密度は、1994年は $0.2\sim 2.9 \times 10^5$ 個体/m<sup>3</sup>、1995年は $0.3\sim 2.3 \times 10^5$ 個体/m<sup>3</sup>、1996年は $0.3\sim 1.8 \times 10^5$ 個体/m<sup>3</sup>、1997年は $0.1\sim 2.4 \times 10^5$ 個体/m<sup>3</sup>であった (Fig. 28a)。4年間を通して、8月に枝角類が約80%と卓越した1994年を除いてカイアシ類が常に約94%以上を占めて優占した。枝角類は、7月から9月の夏季に個体数密度が増加し、1995年から1997年の3年間は、その最大個体数密度は $7.0\sim 12.0 \times 10^3$ 個体/m<sup>3</sup>であったが、1994年のそれは $1.7\sim 2.3 \times 10^5$ 個体/m<sup>3</sup>にも達した (Fig. 28b)。枝角類の主な出現種は、汽水性の *Diaphanosoma brachyurum* の1種であり、1994年と1995年は調査期間を通じて本種のみが出現した。しかし、1996年には他の枝角類が出現し、全枝角類の34~100%、1997年11月には33%を占めた。カイアシ類の個体数密度は、枝角類のそれよりも約2桁高く、1994年は $0.2\sim 1.7 \times 10^5$ 個体/m<sup>3</sup>、1995年は $0.3\sim 2.3 \times 10^5$ 個体/m<sup>3</sup>、1996年は $0.3\sim 1.8 \times 10^5$ 個体/m<sup>3</sup>、1997年は $0.1\sim 2.3 \times 10^5$ 個体/m<sup>3</sup>を変動した (Fig. 28c)。それぞれの極大時期は年および季節により異なったが、個体数密度の変動幅はどの年も $0.1\sim 2.3 \times 10^5$ 個体/m<sup>3</sup>の範囲内であった。調査期間を通じて汽水性カイアシ類 *S. tenellus* が約90%以上を占めて圧倒的に優占し、ノープリウス期以外は7月あるいは8月、10月から11月にかけてその組成率が増加したのに対して、ノープリウス期個体は1994年は9月から10月、その他の年は8月から10月にかけて組成率が増加した。

4年間の水温、塩分、クロロフィル *a* 量および甲殻類プランクトン個体数密度のそれぞれについて、高水温期の7月から9月、水温下降期の10月から11月、および7

月から11月まですべての季節を通して平均値を求め、これを比較した (Table 17)。これらの中で、統計的に有意な差が認められたのは、7月から9月までの塩分 (One-way ANOVA,  $P < 0.05$ )、7月から11月までの塩分 (Kruskal-Wallis test,  $P < 0.05$ ) のみであった。しかし、統計的に有意な差が認められなかったものの、低塩分であった1995年と1996年のクロロフィル *a* 量は低濃度の傾向があった。また、枝角類の7月から9月までの平均個体数密度は1994年に $57.2 \times 10^3$ 個体/m<sup>3</sup>と高かったが、枝角類とカイアシ類を合わせた甲殻類プランクトンの平均個体数密度は、7月から11月の間には約 $0.9\sim 1.0 \times 10^5$ 個体/m<sup>3</sup>で、各年ではほぼ同程度であった。このように、各年の7月以降の環境の平均像は塩分を除いてほぼ同様であり、その年変動は比較的小さいことが示唆された。

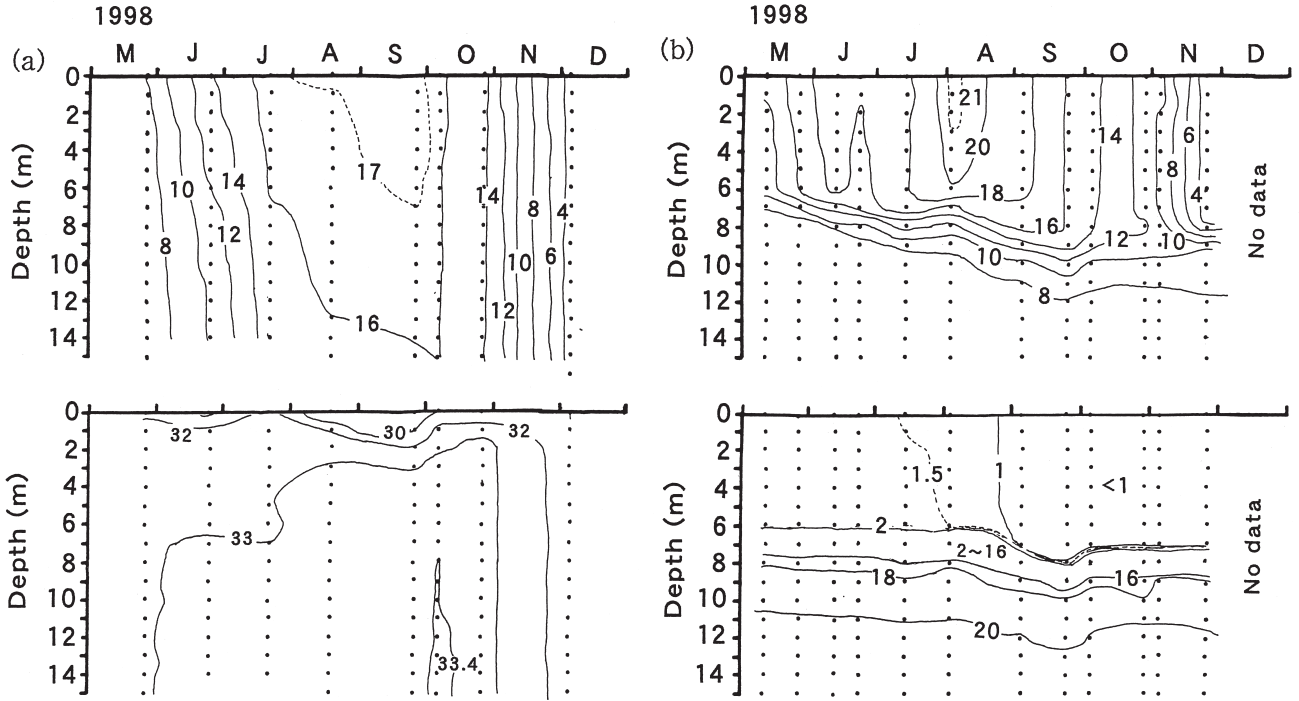
## 1.2. 湖沼環境と沿岸環境の比較

1998年の沿岸域の水温は、調査期間を通じて鉛直的に一様であった (Fig. 29a)。すなわち、5月下旬には表層から底層まで約8℃であり、その後徐々に昇温し6月下旬には約14℃となった。7月から10月上旬には全層均一に16℃以上となり、10月下旬以降水温は14℃から4℃まで急激に下降した。塩分は5月から10月下旬まで2m以浅で32psu以下、それ以深では32~34psuであり、10月初旬には8m以深で33.4psu以上の高塩分水が認められた。11月以降は表層から底層まで約32psuと一様であった。一方、湖の水温も7月下旬から8月中旬に2m以浅で21℃となった他は、約6~7m以浅で鉛直的にほぼ一様であった (Fig. 29b)。塩分は6~8mに塩分躍層が発



**Fig.28** Seasonal changes in abundance of crustacean plankton and its composition. Note that copepods and cladocerans are exclusive components of crustacean plankton (a), seasonal changes in abundance of cladocerans and its numerical composition of *Diaphanosoma brachyurum* (b), seasonal changes in abundance of copepods and its numerical composition of *Sinocalanus tenellus* (c) at St.9 in Lake Abashiri from July to November in 1994 through 1997.

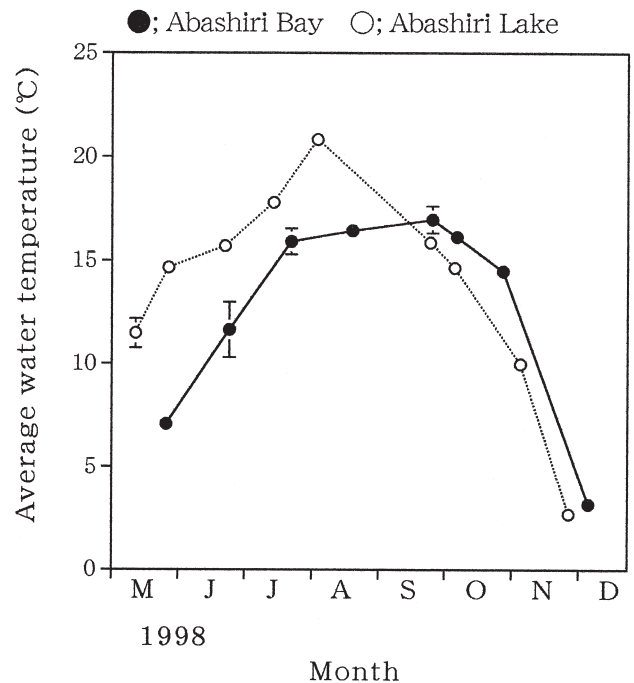




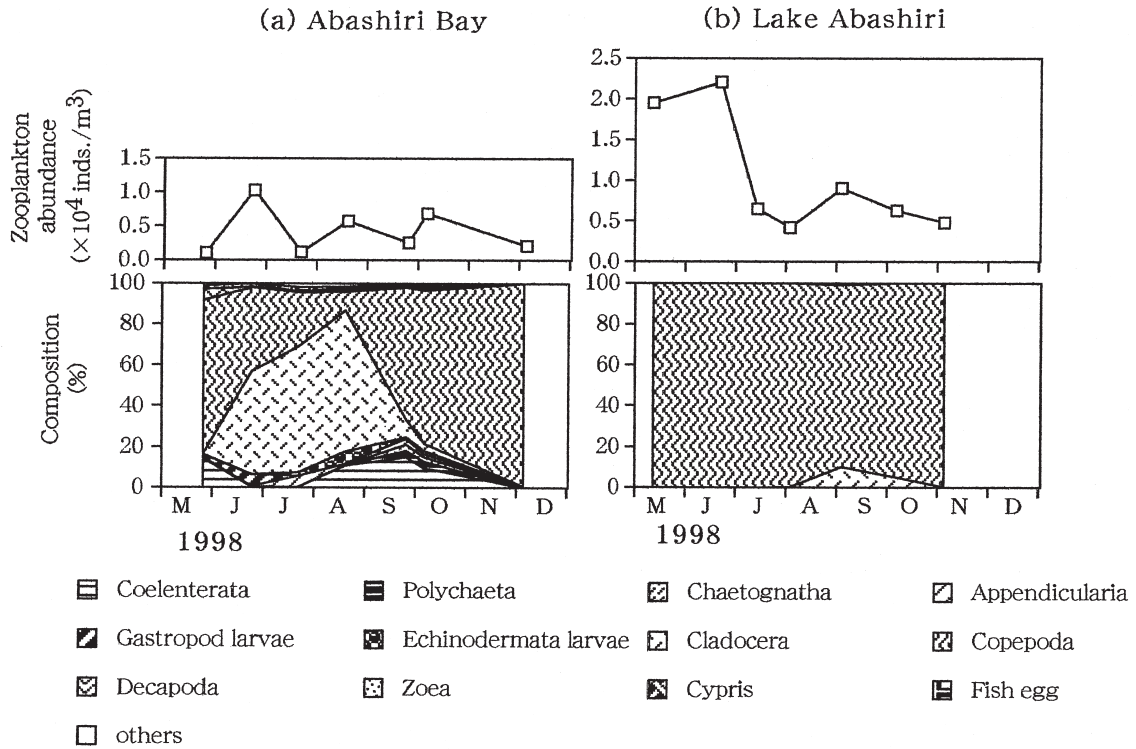
**Fig.29** Seasonal changes in temperature (°C) and salinity (psu) profiles at St.S in Abashiri Bay (a), and at St.9 in Lake Abashiri (b) from May to December in 1998. Water temperature (top) and salinity (bottom) in each figure.

達し、約2～16psuまで大きく変動した。そして、塩分躍層以浅では塩分は各季節とも鉛直的に一様であった。Fig.30には、沿岸域の表層から15mおよび湖の表層から6mまでの平均水温の季節変化を示した。沿岸域の水温は5月から8月までは湖水温よりも約5～8℃低く推移した。8月以降10月まで、沿岸域の水温は約15～16℃と比較的一定していたのに対して、湖水温は20℃から10℃まで大きく下降した。11月下旬から12月初旬には、沿岸域と湖ともに水温は約3℃まで下降した。

5月から12月まで動物プランクトン総個体数密度の季節変化は、沿岸域では6月に $1.0 \times 10^4$ 個体/ $m^3$ 、8月に $0.6 \times 10^4$ 個体/ $m^3$ 、10月に $0.7 \times 10^4$ 個体/ $m^3$ と3度の増加が観察された (Fig.31a)。動物プランクトンは、腔腸動物、多毛類、ヤムシ類、尾虫類、巻貝幼生、棘皮動物幼生、枝角類、カイアシ類、十脚類、ゾエア幼生、キプリス幼生、魚卵などが観察され、総個体数密度の増加時にはカイアシ類と枝角類が多くを占めていた。一方、湖の動物プランクトン総個体数密度は、5月から6月にかけて $2.0 \sim 2.2 \times 10^4$ 個体/ $m^3$ と顕著な増加が観察された他は、これ以降は $0.4 \sim 0.9 \times 10^4$ 個体/ $m^3$ の間を推移した (Fig.31b)。湖の動物プランクトン組成は、その大部分がカイアシ類で占められ、8月から10月にかけて枝角類が総個体数密度の0.1～10%を占めて出現したに過ぎな



**Fig.30** Comparison of seasonal changes in water temperatures between Abashiri Bay and Lake Abashiri in 1998. Water temperatures were those integrated over 0 – 15m at St.S in Abashiri Bay, and over 0 – 6m at St.9 in Lake Abashiri. Error bars denote one standard deviation.



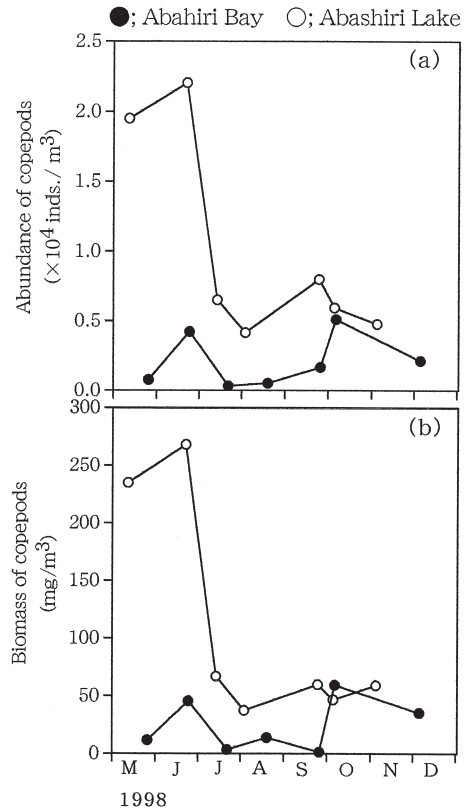
**Fig.31** Seasonal changes in zooplankton abundance and taxonomic composition in Abashiri Bay (a) and Lake Abashiri (b) from May to December in 1998. Zooplankton were collected by vertical haul of Norpac net (GG54) through the entire water column in the Bay (17m deep), and 0–6m water column in Lake Abashiri.

かった。カイアシ類は、個体数の上で沿岸域および湖ともに最も優占した動物群であり、5月から12月まで沿岸域では $0.1\sim 0.5\times 10^4$ 個体/ $m^3$ 、湖では $0.4\sim 2.2\times 10^4$ 個体/ $m^3$ の個体数密度で出現した (Fig. 32a)。そして、沿岸域では6月に $0.4\times 10^4$ 個体/ $m^3$ と10月に $0.5\times 10^4$ 個体/ $m^3$ と増加し、2度の増加が観察された。一方、湖では5月から6月にかけて $1.9\sim 2.2\times 10^4$ 個体/ $m^3$ まで増加したが、それ以後は明瞭な増加は観察されなかった。カイアシ類の現存量は、沿岸域では6月に $45mg/m^3$ 、10月に $59mg/m^3$ と2度の増加が観察された (Fig. 32b)。一方、湖では5月から6月にかけて $235\sim 268mg/m^3$ まで増加したが、7月以降はほぼ沿岸域と同程度の $37\sim 67mg/m^3$ で推移した。

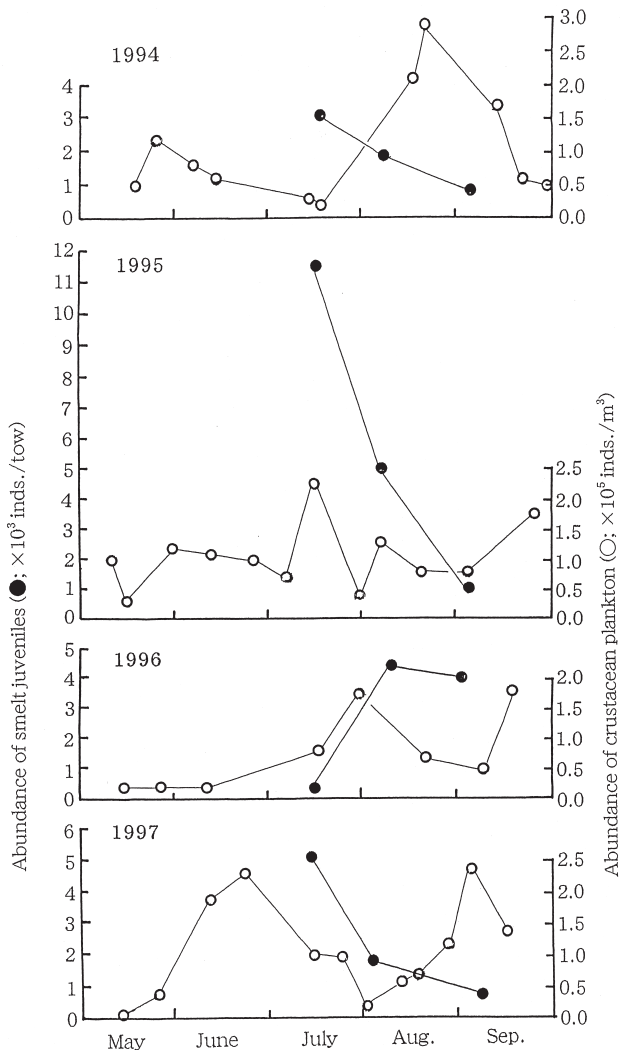
**2. 成長**

**2.1. 稚魚の出現時期および分布指数**

第1節で述べたように、ワカサギ仔魚はプランクトンネットでも採集が可能であったが、7月以降はワカサギの成長とともに遊泳力も増大し、プランクトンネットでの採集は困難となり、曳網を用いた採集が必要となる。本研究で用いた稚魚採集個体数は、毎年7月から9月に月1回の頻度で行われる一曳網当たりの稚魚の平均採集個体数の資料<sup>10)</sup>を引用した (Fig. 33)。ここでは、同時



**Fig.32** Seasonal changes in the abundance (a) and biomass (b) of copepods in Abashiri Bay and Abashiri Lake from May to December in 1998.



**Fig.33** Seasonal changes in abundance of smelt juveniles and crustacean plankton in Lake Abashiri from May to September in 1994 through 1997.

に5月から9月までの甲殻類プランクトン総個体数密度も示した。その年の稚魚の最大採集個体数を示す稚魚分布指数は、1995年が最も多い $1.2 \times 10^4$ 個体/曳、次いで1997年が $5.2 \times 10^3$ 個体/曳、1996年が $4.4 \times 10^3$ 個体/曳、1994年が $3.0 \times 10^3$ 個体/曳であり、1995年のみが $10^4$ のレベル、他の3年間は $10^3$ のレベルと年によって大きく変動した。稚魚分布指数を決定した時期は、1994年、1995年および1997年が7月であったのに対して、1996年は一月遅れの8月であった。稚魚の分布指数と比較して、甲殻類プランクトンの総個体数密度は4年間を通して、その最大値は約 $2.0 \sim 3.0 \times 10^4$ 個体/ $m^3$ の間にあり、大きく異なることはなかった。

**2.2. 体サイズおよび体長・体重関係**

1994年から1997年までの7月から10月に採集された稚

魚の平均体長、平均体重および平均肥満度をTable18に示した。各年の稚魚の体長と体重は、それぞれ1994年は19.00~92.0mmおよび0.03~7.31g、1995年は20.70~94.02mmおよび0.05~8.93g、1996年は13.11~79.52mmおよび0.01~5.91g、1997年は18.33~90.21mmおよび0.04~8.97gの範囲にあった。稚魚の平均体長は、1996年を除いた3年間では10月に約70mm前後に達したのに対し、1996年では約55mmと最も小さかった。また、平均体重も1996年を除いた3年間では、10月に約3~4gに達したのに対して、1996年では約1.7gと最も小さかった。肥満度は1994年は4.47~13.24、1995年は4.41~12.47、1996年は1.55~15.39、1997年は3.30~14.71の範囲にあった。

網走湖では毎年10月以降にワカサギ漁業が本格化する。そこで、漁業解禁前の7月から9月までに採集されたワカサギ稚魚の平均体長、平均体重および平均肥満度を各年で比較した(Table19)。その結果、平均体長は、1994年と1996年がそれぞれ41.26mmおよび42.03mmであり、1995年と1997年と比較して有意に小さかった (Post-hoc test,  $P < 0.05$ )。平均体重は1996年が最小であり (Post-hoc test,  $P < 0.05$ )、0.84gであった。平均肥満度は各年でそれぞれ、有意に異なり (Post-hoc test,  $P < 0.05$ )、1997年が最大の9.23であり、1996年が最小の8.24であった。4年間を通して、稚魚の体サイズは1996年が小さい傾向があった。

稚魚の体長と体重の関係を見るために、放物線式

$$W = A \cdot L^B \dots \dots (1)$$

(Wは体重:mg, Lは体長:mm)

を適合した。(1)式の両辺の対数をとると、

$$\log W = B \cdot \log L + \log A \dots \dots (2)$$

となり、両者の関係は対数座標上において直線で示される。

4年間を通して、体長と体重の関係式(2)のBの値は3.147~3.990の範囲であり、log Aの値は-3.562~-2.269の範囲にあった (Table20)。Bとlog Aの値は明らかな逆相関関係にあった (Fig.34)。

**2.3. 水分含量**

水分含量は73~86%の間にあり、平均81%であった (Fig.35)。水分含量は体長と体重の増加とともに減少した。その減少のパターンは体長35mm、体重0.3gを境に異なり、このサイズ以下では、水分含量は急激に減少するのに対して、これ以上では、比較的緩やかに減少した。これらのことから、このサイズの前後で個体の生理的变化が急速に起こることが示唆された。

**Table 18** Body length (mm), wet weight (gr) and condition factor of smelt juveniles collected in Lake Abashiri, in 1994 through 1997.

Year	Date	No. of sample	Body length (mm)			No. of sample	Body wet weight (gr)			No. of sample	Condition factor		
			Mean	S.D.	Range		Mean	S.D.	Range		Mean	S.D.	Range
1994	July 15	457	28.12	3.01	19.00~40.00	457	0.17	0.07	0.03~0.59	457	7.40	0.84	4.47~9.95
	Aug. 19	157	49.68	7.95	27.00~68.00	157	1.51	0.76	0.18~4.03	157	11.26	0.90	7.99~13.24
	Sep. 22	231	61.54	6.33	42.00~75.00	231	2.38	0.71	0.62~5.12	231	9.87	0.70	7.57~12.14
	Oct. 25	210	73.68	7.33	55.00~92.00	210	4.22	1.26	1.49~7.31	210	10.21	0.70	8.70~12.93
1995	July 19	176	32.26	3.62	20.70~42.39	176	0.30	0.12	0.05~0.75	176	8.45	0.76	5.72~11.07
	Aug. 8	882	42.00	6.91	21.66~61.50	882	0.74	0.42	0.07~2.80	882	8.67	0.89	4.41~12.32
	Aug. 22	774	53.97	10.01	26.49~72.79	774	1.68	0.87	0.12~4.05	774	9.37	1.08	4.36~11.75
	Sep. 26	344	58.91	7.97	42.26~86.08	344	2.06	1.05	0.63~7.03	344	9.38	0.68	6.19~11.56
	Oct. 24	313	73.67	7.55	54.41~94.02	313	4.21	1.41	1.31~8.93	313	10.15	0.71	4.72~12.47
1996	July 16	92	18.87	1.74	13.11~22.27	92	0.03	0.01	0.01~0.05	92	3.91	0.89	1.55~5.73
	Aug. 5	248	28.29	5.85	17.72~47.27	248	0.18	0.14	0.01~0.90	248	6.45	1.61	1.62~9.47
	Aug. 21	175	32.70	9.88	20.86~64.15	175	0.43	0.59	0.06~3.12	175	8.28	1.18	6.20~11.98
	Sep. 2	416	37.89	5.14	24.91~58.60	416	0.50	0.28	0.11~2.10	416	8.53	0.80	3.76~15.39
	Sep. 17	1103	50.09	8.20	29.95~93.40	1103	1.25	0.81	0.21~5.16	1103	8.89	0.75	5.32~14.64
	Oct. 3	90	50.33	4.63	40.68~70.78	90	1.16	0.46	0.59~3.52	90	8.74	0.82	5.39~11.03
	Oct. 14	91	55.19	6.66	41.42~79.52	91	1.69	0.85	0.63~5.91	91	9.47	0.57	8.29~11.79
1997	July 14	175	22.98	2.52	18.38~29.13	104	0.09	0.04	0.04~0.18	104	6.55	0.95	3.68~10.08
	Aug. 4	391	38.50	7.07	18.01~60.24	391	0.62	0.41	0.03~2.63	391	9.30	1.18	3.30~14.15
	Aug. 21	1051	51.09	9.55	23.46~79.07	180	1.49	0.49	0.69~3.08	180	9.44	0.67	7.87~12.34
	Sep. 8	651	54.29	9.89	20.03~80.72	651	1.74	1.09	0.17~6.13	651	9.55	1.09	6.19~14.71
	Sep. 24	140	59.11	8.64	40.90~82.05	140	2.10	1.13	0.45~6.41	140	9.28	0.95	6.50~12.80
	Oct. 13	261	66.83	8.11	46.70~90.21	261	3.16	1.34	0.96~8.97	261	10.00	0.96	5.34~14.21

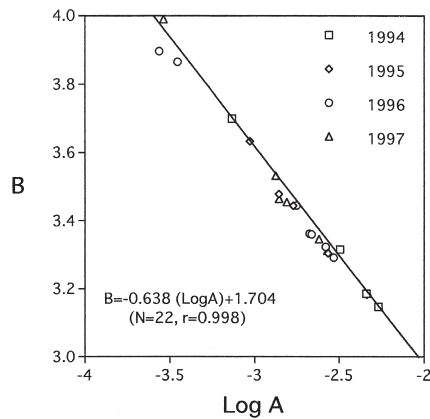
**Table 19** Interannual variations in body length (mm), weight (gr.) and condition factor of smelt juveniles collected in Lake Abashiri during the period of July to September in 1994 through 1997. Means with the same alphabet superscript dose not differ each other (Sheffe's F of Post-hoc test,  $p>0.05$ ).

Year	No. of samples	Body length (mm)			Body weight (gr.)			Condition factor		
		Mean	S.D.	Range	Mean	S.D.	Range	Mean	S.D.	Range
1994	845	41.26 <sup>a</sup>	15.71	19.00~75.00	1.03 <sup>a</sup>	1.09	0.03~5.12	8.79 <sup>a</sup>	1.78	4.47~13.24
1995	2176	48.14 <sup>b</sup>	11.49	20.77~86.08	1.25 <sup>b</sup>	0.93	0.05~7.03	9.09 <sup>b</sup>	0.98	4.36~12.32
1996	2034	42.03 <sup>a</sup>	12.17	13.11~93.40	0.84 <sup>c</sup>	0.28	0.01~5.16	8.24 <sup>c</sup>	1.55	1.55~15.39
1997	1466	48.22 <sup>b</sup>	12.95	18.01~82.05	1.33 <sup>b</sup>	1.05	0.03~6.41	9.23 <sup>d</sup>	1.29	3.30~14.70

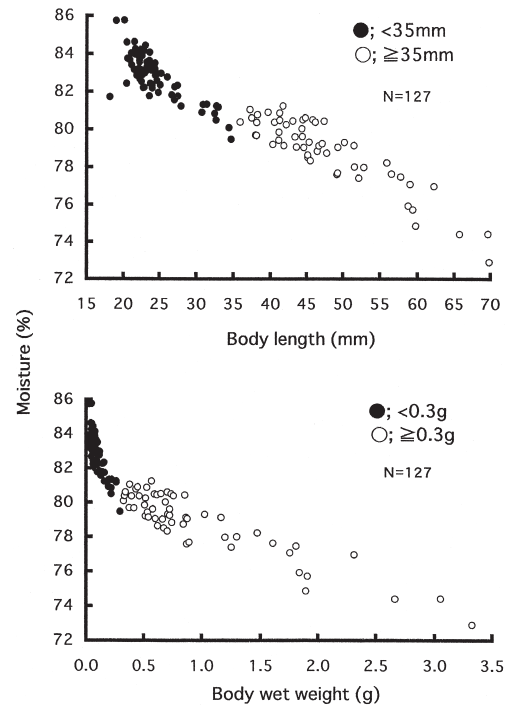


**Table 20** Regression statistics of body length (L, mm) on body weight (W, mg) for smelt juveniles collected in Lake Abashiri in 1994 through 1997. Regression model :  $\text{Log } W = B \text{ Log } L + \text{Log } A$

Year	Date	No. of samples	B	Log A	r
1994	July 15	457	3.691	-3.133	0.975
	Aug. 19	157	3.316	-2.484	0.993
	Sep. 22	231	3.147	-2.269	0.979
	Oct. 25	210	3.186	-2.338	0.980
	Total	1055	3.376	-2.667	0.997
1995	July 19	176	3.633	-3.028	0.992
	Aug. 8	882	3.444	-2.772	0.993
	Aug. 22	774	3.479	-2.857	0.994
	Sep. 26	344	3.304	-2.566	0.990
	Oct. 24	313	3.183	-2.336	0.975
	Total	2489	3.299	-2.545	0.996
1996	July 16	92	3.896	-3.562	0.847
	Aug. 5	248	3.865	-3.455	0.957
	Aug. 21	175	3.445	-2.753	0.997
	Sep. 2	416	3.324	-2.581	0.981
	Sep. 17	1103	3.360	-2.663	0.993
	Oct. 3	90	3.362	-2.676	0.953
	Oct. 14	91	3.292	-2.532	0.991
	Total	2215	3.593	-3.048	0.991
1997	July 14	104	3.990	-3.537	0.966
	Aug. 4	391	3.352	-2.875	0.991
	Aug. 21	180	3.454	-2.810	0.983
	Sep. 8	651	3.346	-2.621	0.989
	Sep. 24	140	3.464	-2.855	0.989
	Oct. 13	261	3.312	-2.570	0.976
Total	1727	3.333	-2.596	0.995	



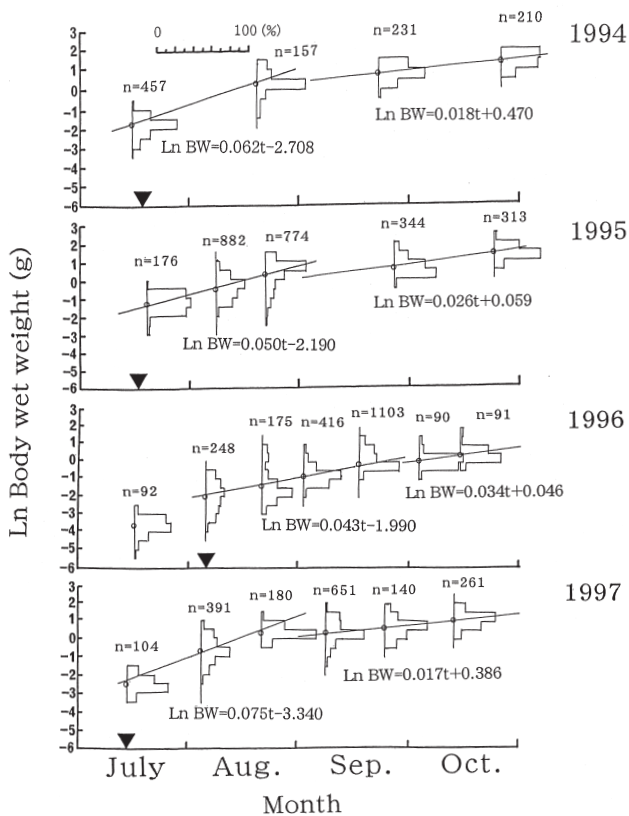
**Fig.34** Relationship between terms of Log A and B in the regression of  $\text{Log } W = B \cdot \text{Log } L + \text{Log } A$ .



**Fig.35** Relationship between moisture and body length and body wet weight of smelt juveniles collected on July 14 and August 21, 1997.

## 2.4. 成長速度および環境要因との関係

網走湖産ワカサギ稚魚の体長頻度分布を追跡した過去の結果によると、同一発生年級群の中に体長を異にした複数の群が存在している可能性が指摘されている<sup>10)</sup>。しかし、ワカサギ稚魚の自然個体群を扱う上で、発生時期を同じくする単一群を個々に分離して各々の群について成長速度を推定することは極めて困難である<sup>10)</sup>。そこで、ここでは採集された稚魚は明らかに同一年級群であることから、平均体重の推移を追跡することにより、ワカサギ個体群としての成長速度を推定した。一般に、魚類の生活史初期の成長は指数関数的であることが知られているので<sup>93)</sup>、体重を対数変換（自然対数）し、その平均体重を採集時期毎にプロットして成長速度を推定した（Fig. 36）。1996年を除いて、体重は7月から8月にか



**Fig.36** Frequency distributions of body weight transformed to the natural logarithm of smelt juveniles collected by seine net in Lake Abashiri during the period of July and October in 1994 through 1997. Open circles (○) denote mean Ln BW values. Closed arrows (▼) denote the date of determining the juvenile index (Torisaswa 1999). Two regression lines are superimposed in each year. The first regression lines are from July to August in 1994, 1995 and 1997, and from August to September in 1996. The second regression lines are from September to October in 1994, 1995 and 1997, and in only October in 1996.

けて急速に増加し、9月以降その増加は鈍化した。1996年は7月から9月にかけて体重は増加するが、他の年よりも緩やかであり、10月以降は鈍化した。ここでは、稚魚が最も多く採集された月を基点に、1994年、1995年および1997年については7月から8月の成長速度を、1996年については8月から9月の成長速度をそれぞれ推定した。成長速度 (g) は1994年、1995年および1997年は7月1日を  $t=1$ 、1996年は8月1日を  $t=1$  とし、対数変換した体重の平均値を経過日数に対して直線回帰させ、その傾きとして推定した (Table 21)。最も高い成長速度が得られたのは、1997年の0.075であった。次いで1994年の0.062、1995年の0.050、最も低かったのが1996年の0.043であった。このように、稚魚の成長速度は各年でそれぞれ異なり、この違いを環境要因との関係で検討した。環境要因として1994年、1995年および1997年は7月から8月、1996年は8月から9月の平均水温、平均塩分および甲殻類プランクトン平均個体数密度をそれぞれ、とりあげた (Fig. 37)。これら3つの環境要因と稚魚の成長速度との間には、唯一塩分との関係で統計的に有意な相関関係が認められ (Fig. 37b,  $r=0.98, P<0.05$ )、水温および甲殻類プランクトン個体数密度と稚魚の成長速度との間には、明らかな関係は認められなかった (Fig. 37ac)。さらに、稚魚の成長速度に及ぼす仔魚期の餌環境の影響について検討した (Fig. 38)。仔魚期の餌環境の指標として、稚魚分布指数を決定した以前の甲殻類プランクトンの平均個体数密度 (1994年、1995年および1997年は5月から6月まで、1996年は5月から7月まで) を取り上げた。両者の間には統計的に有意ではないが、正の相関関係が認められ、稚魚期の成長速度は仔魚期の餌環境にも影響されることを示唆した。

## 3. 摂餌

### 3.1. 胃内容物組成

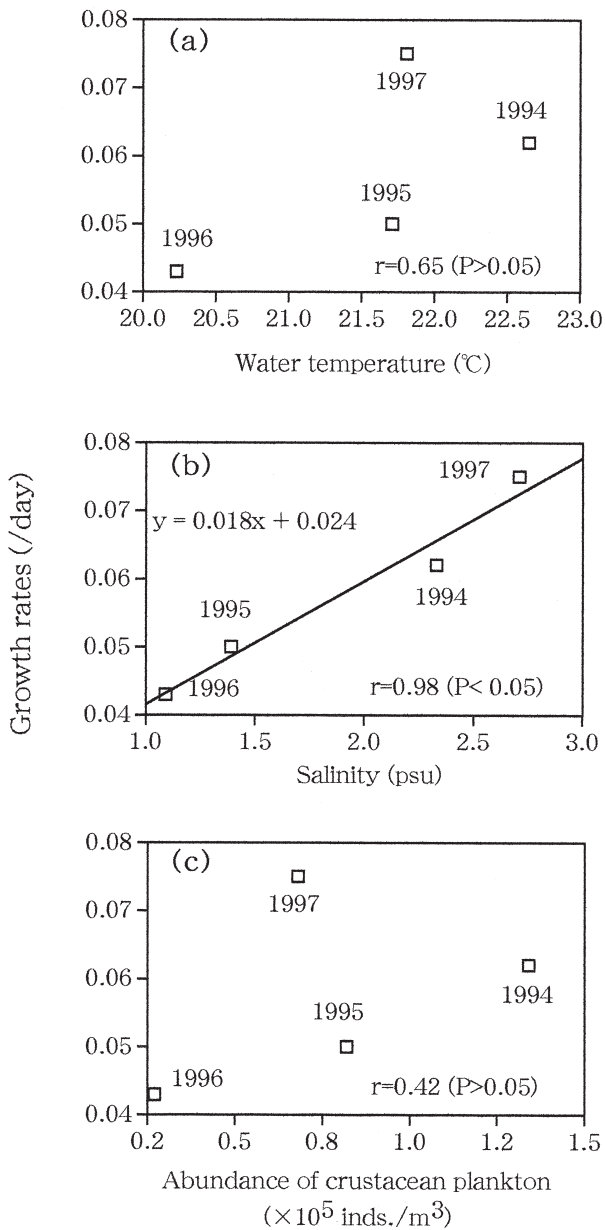
1994年と1995年の7月から9月までに観察した稚魚の胃内容物は、輪虫類、枝角類、カイアシ類、アミ類などで構成されていた (Table 22)。これらの中でも枝角類の *Diaphanosoma brachyurum*、カイアシ類の *Sinocalanus tenellus*、アミ類の *Neomysis intermedia* などの甲殻類プランクトンは胃内容物組成中で多くを占めた。1994年には8月に *D. brachyurum* は稚魚1個体当たり約1,095個体 (平均胃内容物組成率は約99%) と卓越して出現した。この1994年8月を除き、7月と9月には *S. tenellus* が稚魚1個体当たり50~1,566個体 (平均胃内容物組成率は約99%以上) を占めて優占した。1995年には、*D. brachyurum* は胃内容物中にはほとんど出現せず、最大でも7月中旬の約1個体であった。しかし、*S. tenellus*

**Table 21** Estimation of instantaneous growth rates (g) of smelt juveniles based on the data in Fig.36.

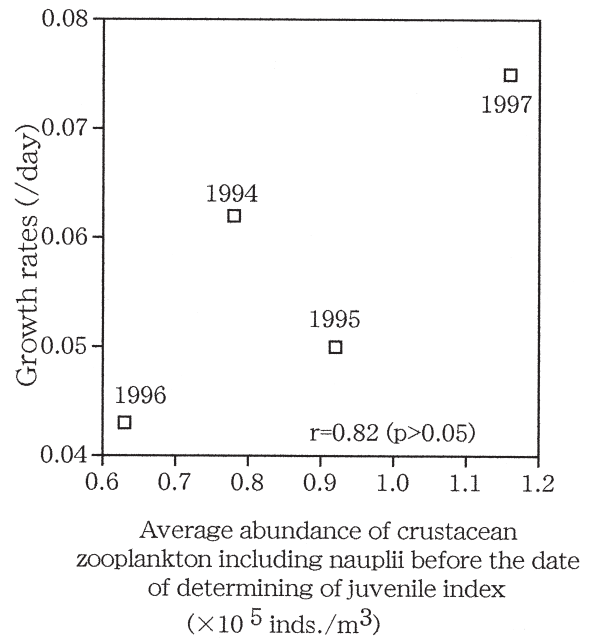
Year	1994	1995	1996	1997
Duration	July 15-Aug.19	July 19-Aug.22	Aug.5-Sept.17	July 14-Aug. 21
Time (days)	35	34	43	38
g	0.062	0.050	0.043	0.075

**Table 22** Stomach content analysis of smelt juvenile collected at St.8 from July to September in 1994 and 1995. Prey organisms were counted and its percent composition was computed (in parentheses).

Year	1994			1995			
	July 15	Aug. 19	Sept. 22	July 19	Aug. 8	Aug. 22	Sept. 26
Sampling date							
No. of specimens examined	40	41	41	10	10	10	10
Mean body length ( mm)	28.50±2.34	49.73±3.11	64.49±4.13	33.12±2.97	51.85±6.46	61.32±6.68	73.83±6.90
Mean body weight (g)	0.18±0.05	1.39±0.30	2.76±0.61	0.32±0.10	1.53±0.66	2.36±0.88	4.11±1.14
<b>Prey organisms</b>							
<b>Rotifera</b>							
<i>Filinia longiseta</i>	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0.5(8.62)
<i>Keratella quadrata</i>	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0.1(1.72)
<b>Cladocera</b>							
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	0(0.00)	1094.6(98.86)	4.5(0.29)	0.9(0.27)	0.4(0.15)	0(0.00)	0.2(3.45)
<b>Copepoda</b>							
copepod nauplii	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	1.2(20.69)
<i>Sinocalanus tenellus</i>	49.7(99.2)	9.9(0.89)	1565.9(99.62)	331.4(99.61)	262.9(99.6)	0.3(6.52)	2.8(48.28)
other copepods	0.03(0.06)	2.3(0.21)	0.2(0.01)	0(0.00)	0(0.00)	0.2(4.35)	0.5(8.62)
<b>Mysidacea</b>							
<i>Neomysis intermedia</i>	0.35(0.70)	0.5(0.05)	1.0(0.06)	0(0.00)	0.6(0.23)	3.8(82.61)	0.5(8.62)
<b>others</b>							
Shrimp larvae	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0.1(0.04)	0.2(4.35)	0(0.00)
Diptera larvae	0(0.00)	0(0.00)	0.2(0.01)	0.4(0.12)	0(0.00)	0.1(2.17)	0(0.00)
fish larvae	0(0.00)	0(0.00)	0.1(0.01)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)
unidentified	0(0.00)	0.02(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)
Total (/juvenile)	50.10	1107.30	1571.90	332.7	264.0	4.6	5.8



**Fig.37** Relationships between growth rates of smelt juveniles and water temperature (a), salinity (b), and abundance of crustacean plankton excluding nauplii (c). The data for water temperature, salinity and abundance of crustacean plankton were from St.9 in Lake Abashiri (mean values from July to August in 1994, 1995 and 1997, and from August to September in 1996).



**Fig.38** Relationship between growth rates of smelt juveniles and abundance of crustacean plankton including nauplii before the date of determining of juvenile index. Crustacean plankton data are means at St.9 in Lake Abashiri, from May to June in 1994, 1995 and 1997, and from May to July in 1996.



は7月と8月に331~263個体、組成率で99%以上を占めて優占した。*N. intermedia*は8月下旬に*S. tenellus*の組成比が大きく減少した時に、稚魚1個体当たり約3.8個体(83%)を占めた。さらに、9月には*S. tenellus*と*N. intermedia*の組成比がともに減少し、稚魚は輪虫類の*F. longiseta*や*K. quadrata*、枝角類の*D. brachyurum*、カイアシ類ノープリウス期など各動物群を広く摂餌していた。このように、2ヶ年のワカサギ稚魚の胃内容物の観察結果により、稚魚の胃内容物組成は比較的単純であり、カイアシ類の*S. tenellus*が一番重要な餌生物であることが示唆された。

### 3.2. 胃充満度指数と甲殻類プランクトンの変動

4年間を通した平均胃充満度指数は、1994年は1.3~2.2%、1995年は0.4~2.5%、1996年は0.6~1.8%、1997年は0.7~1.3%の間であった(Fig. 39a)。各年の平均胃充満度指数は1994年が1.5%、1995年が1.6%、1996年が1.2%、1997年が1.0%であり、それぞれの年の間には統計的に有意な差はなかった(One-way ANOVA,  $P > 0.05$ )。胃充満度指数は7~8月に最大となり、以後減少する傾向があった。そして、この胃充満度指数の極大時は、同時に甲殻類プランクトン個体数密度の増加時期でもあり(Fig. 39b)、稚魚の胃充満度指数の季節変化は環境中の餌生物量の季節変化を良く反映していた。

### 3.3. 消化速度および摂餌率の推定

4年間を通して観察した稚魚の胃充満度指数の時刻変化は、稚魚は日中絶えず摂餌活動を行っていることを示した(Fig. 40)。また、1994年8月、9月および10月、1995年7月および8月、1996年8月の各調査日には稚魚の胃充満度指数に採集時刻による違いが認められた(Kruskal-Wallis test,  $P < 0.05$ )。胃充満度指数の時刻変化の特徴は大きく二つに分けられ、正午過ぎから夕刻に向かって増加する場合(1994年8月、9月および10月、1995年7月、1996年8月)と朝方に高く午後に向かって低下する場合(1995年8月)とがあった。

稚魚の消化速度の推定に用いられた個体の体長と体重は、約25~65mm、約0.2~3.2gと広範囲に亘っており(Fig. 41a)、体長頻度分布と体重頻度分布ともに2峰型の分布を示していた。すなわち、体長約25~40mmと体重約0.2~0.6gの群と、体長約45~65mmと体重約0.8~3.2gの群の2群であった。そこで、まず最初に体重をもとに0.6g未満の個体と0.6g以上の個体の2つの体サイズグループに稚魚を分けて消化速度を推定し、体サイズの違いによって消化速度が異なるかどうかを検討した(Fig. 41b)。これら2群の胃充満度指数は、時間の経過

に伴い指数関数的に減少し、それぞれ以下の回帰式が得られた。すなわち、

(i)  $\geq 0.6\text{g}$ の個体

$$\text{SFI} = 2.3901e^{-0.2014t} \quad (r=0.97, \text{水温}22^\circ\text{C})$$

(ii)  $< 0.6\text{g}$ の個体

$$\text{SFI} = 2.1947e^{-0.2121t} \quad (r=0.97, \text{水温}22^\circ\text{C})$$

しかし、これらの回帰式には統計的に有意な差は認められず(ANCOVA,  $P > 0.05$ )、体サイズの違いによる消化速度の違いはないものとして、2群に分けることなく全ての個体を合わせて胃充満度指数の時刻変化を見た結果、以下の回帰式が得られた(Fig. 41c)。

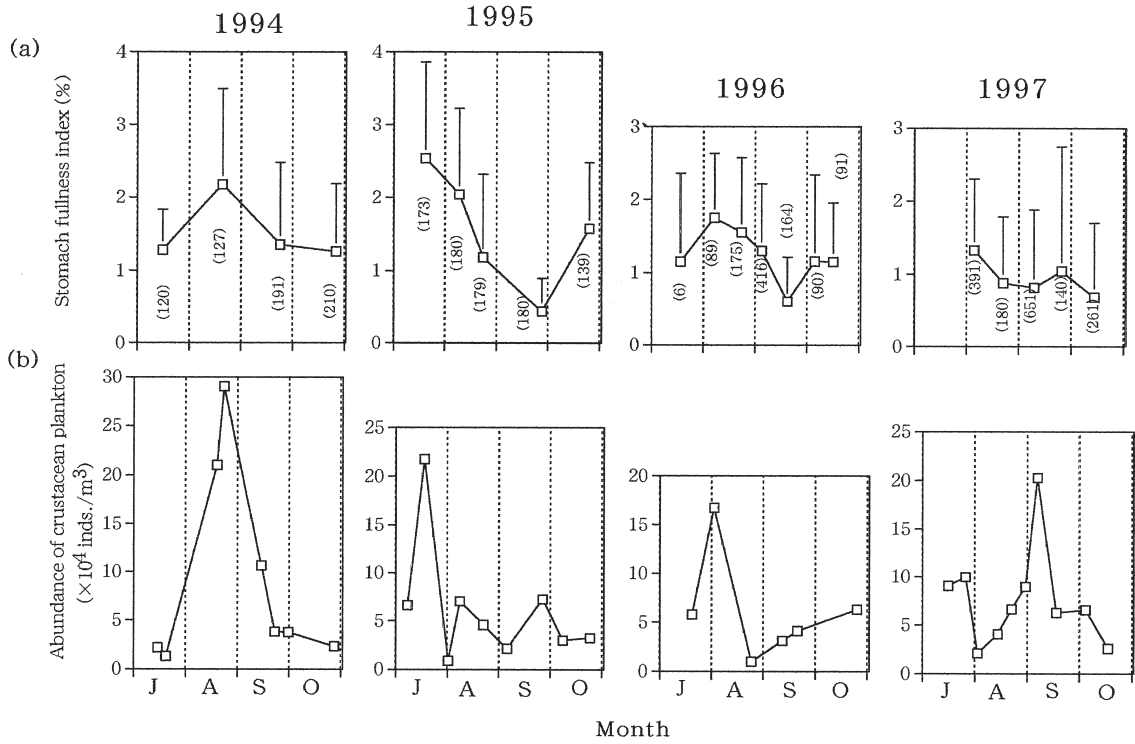
$$\text{SFI} = 2.2243e^{-0.1974t} \quad (r=0.98, \text{水温}22^\circ\text{C})$$

そして、得られた減少係数0.1974/時を水温22℃における稚魚の消化速度とした。次に、1995年7月19日と8月8日に野外で7時から17時の間に2時間毎に得られた稚魚の平均胃充満度指数(Fig. 40)と推定消化速度(0.1974/時)とから、Elliot and Persson<sup>45)</sup>により、各時間間隔での稚魚の摂餌量を推定した(Table 23)。そして、これらの総和を7時から17時までの稚魚の摂餌量とした。その結果、稚魚の摂餌量は稚魚1個体の体重(湿重量)当たり、7月には6.1%および8月には3.0%と推定され(平均4.5%)、7月の稚魚の摂餌量は8月のその約2倍高い値であった。

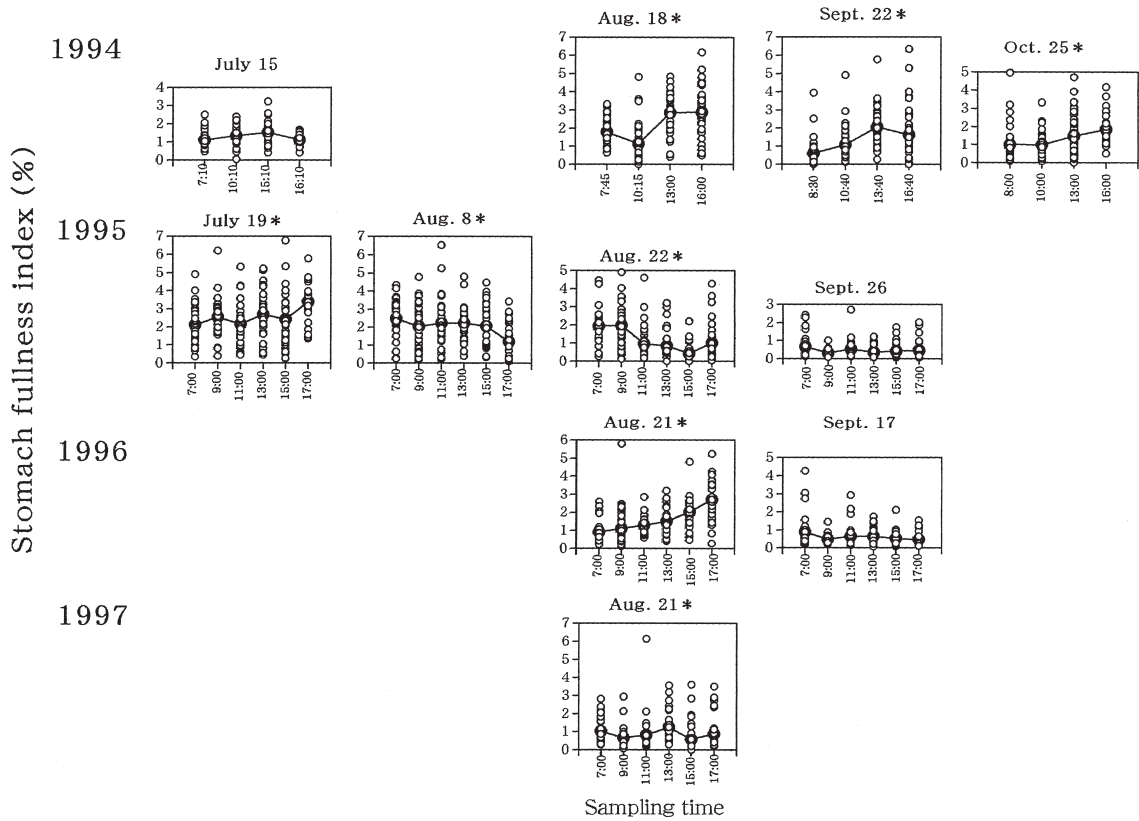
## 4. 湖中残留群および降海群の比較

1996年8月に沿岸域と湖内で採集されたワカサギ稚魚の体長と体重は、いずれも沿岸域で採集された個体で大きかった(Fig. 42ab)。すなわち、体長頻度分布は沿岸域では35~40mmにモードを持ったのに対し、湖内でのそれは25~30mmであった。体重頻度分布も沿岸域では0.2~0.6gにモードを持ったのに対し、湖内でのそれは0.4g以下であった。しかし、湖内には少ない比率ではあるが、沿岸域では見られなかった体長45~65mm、体重1.0~3.2gの大型個体も分布していた。体長と体重とは逆に、稚魚の肥満度は沿岸域の個体の方が低い傾向があった(Fig. 42c)。すなわち、体長を5mm毎に区切り、同一体長範囲内の肥満度を比較した結果、体長35~50mmの個体で有意に湖内に生息する個体の肥満度が高かった。また、同様に沿岸域に生息する個体と湖内に生息する個体の平均胃充満度指数を比較した結果、両者には統計的に有意な違いは認められず、平均胃充満度指数は約1.0~2.5%の範囲にあった(Fig. 42d)。

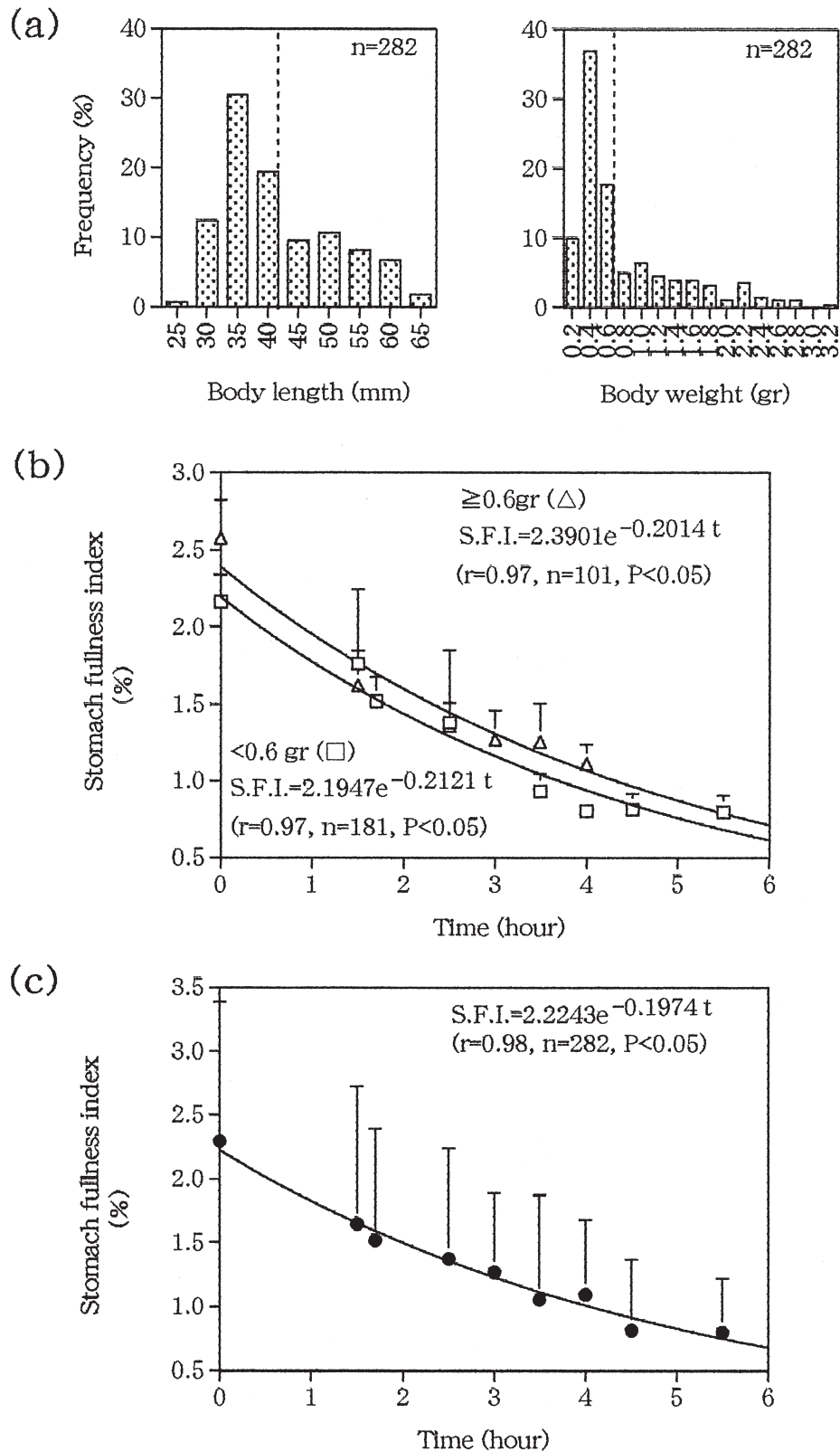
沿岸域で採集された個体の胃内容物組成を15個体について調べた(Table 24)。調べた個体の体長と体重は、それぞれ27.6~39.6mmおよび0.18~0.56gの範囲にあった。稚魚の胃内容物には10分類群の動物群が観察された



**Fig.39** Changes in stomach fullness index of smelt juveniles (a), and in abundance of crustacean plankton (b) from July to October in 1994 through 1997. The number of specimens examined is shown in (a). Error bars denote one standard deviation.



**Fig.40** Short-term changes in stomach fullness index of smelt juveniles during daytime hours. Smelt juveniles were collected by means of seine net at St.8 in 1994 through 1997. Symbols \* denote the day where the short-term changes are significant ( $P < 0.05$ , Kruskal-Wallis test).



**Fig.41** Frequency distribution of body length and weight of smelt juveniles used for the estimation of gut evacuation rate experiments (a), changes with time in stomach fullness indices of two size group of smelt juveniles ( $< 0.6\text{ gr}$  and  $\geq 0.6\text{ gr}$  in body weight) (b), Since there observed no significant differences in the regression lines between these two size groups, the data were pooled to calculate new regression equation (c). Bars in (b) and (c) denote one standard deviation. Smelt juveniles used for experiments were collected on July 19 and August 8, 1995 (water temperature was  $22^{\circ}\text{C}$ ).

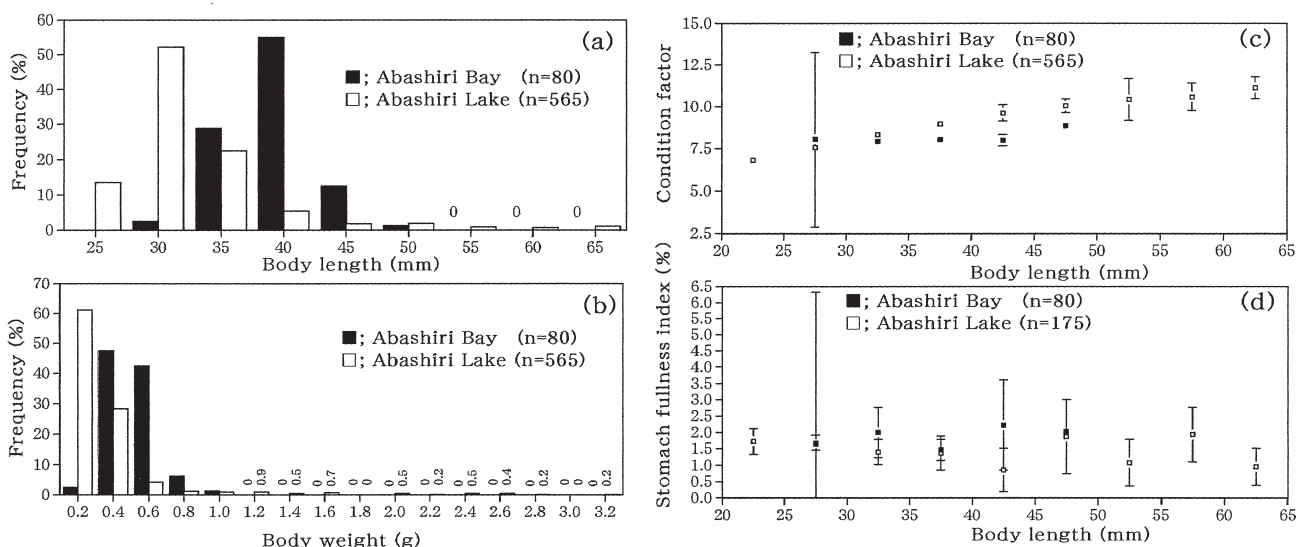
**Table 23** An estimation of food consumption by smelt juveniles in summer 1995.

Date	July. 19	Aug. 8
Experimental time (hours)	7:00-17:00	7:00-17:00
Gut evacuation rate (/hour)	0.1974	0.1974
Food consumption during each time interval (%/ind.)*		
7:00-9:00	1.1	0.4
9:00-11:00	0.7	1.0
11:00-13:00	1.5	0.9
13:00-15:00	0.7	0.7
15:00-17:00	2.1	0.0
Total food consumption (% /ind./10 hours)	6.1	3.0

\* Estimated by the method of Elliot and Persson (1978).

**Table 24** Stomach content analysis of smelt juveniles collected in the coast of Abashiri Bay on 26 August 1996.

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Average
Body length (mm)	38.17	38.76	36.23	38.47	35.38	34.87	36.66	37.99	35.56	27.64	33.21	38.56	32.9	39.55	32.98	35.80
Body wet weigh (g)	0.48	0.52	0.38	0.50	0.35	0.32	0.41	0.45	0.38	0.18	0.32	0.48	0.31	0.56	0.26	0.39
Prey organisms																
Crustacea nauplius	1	1	0	3	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.6
Copepoda	57	138	1063	263	4	248	246	77	137	48	69	777	394	11	1359	326.1
Cladocera	1	3	3	24	1	9	14	21	4	14	3	3	5	0	15	8.0
Amphipoda	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
Isopoda	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0.2
Oligotrichida	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	1	0	1	0	0.6
Appendiculata	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.1
Polychaeta	0	0	0	7	1	1	2	0	244	66	1	1	1	0	0	21.6
Bivalve larvae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.1
Fish egg	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.1
unidentified egg	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
unidentified	0	0	0	0	0	0	2	2	0	1	0	0	1	0	0	0.4
Total (/juvenile)	61	142	1066	298	6	261	266	102	387	130	80	782	401	12	1374	357.87

**Fig.42** Body length (a), body weight (b), condition factor (c) and stomach fullness index (d) of smelt juveniles collected from Abashiri Bay on 26 August 1996 and Abashiri Lake on 21 August 1996. Error bars in (c) and (d) indicate 95% confidence limits.



が、大部分の個体はカイアシ類を摂餌し、1個体当たり胃内容物中のカイアシ類の平均個体数は326個体であり、湖で1994年と1995年に調べた結果同様、沿岸域でもカイアシ類はワカサギ稚魚の重要な餌生物であった。

## 5. 考察

### 5.1. 成長

ワカサギ稚魚の体長と体重の関係式 $W=A \cdot L^B$ において、Bの値は7月に3.7~3.9と高く、以後徐々に減少し3.2~3.3となった (Table 21)。一般に、Bの値は2.5~4.0の範囲にあり<sup>94,95)</sup>、また一定比率の形態で成長する魚類ではBの値は3とされている<sup>96)</sup>。網走湖産ワカサギ稚魚のBの値は常に3以上であるが、時期の推移とともに減少する傾向があった。このことは、ワカサギ稚魚の成長は一定比率の形態で成長するものではないことを示している。Bと $\log A$ の値は逆相関関係にあることが知られており<sup>94)</sup>、ワカサギ稚魚についても同様の傾向が認められた。稚魚の水分含量は体長35mm、体重0.3gを境にこの前後で急速に減少した (Fig. 35)。網走湖産ワカサギ仔稚魚の形態変化を詳しく記載した虎尾<sup>30)</sup>によれば、ワカサギは体長約35mmを境に変態期仔魚から稚魚期へと移行することから、このサイズでワカサギは形態的にも生理的にも大きく変化するものと考えられる。さらに、この時期のワカサギは指数関数的に急速に成長した (Fig. 36)。稚魚個体群の成長速度は各年で異なり、環境要因の中でも塩分と明瞭な正の相関関係が観察された。これまで、塩分についてワカサギの成長に及ぼす影響についてはほとんど報告がない。本来は海で生活するワカサギにとって、その成長に塩分環境は極めて重要な要因となることは充分考えられる。本研究では、稚魚個体群の成長速度を推定するに当たり、稚魚の季節毎の平均体重を用いた。より正確な成長速度を推定するためには、耳石日周輪を用いた成長率の推定が最も適切であり<sup>11,29,97)</sup>、今後の重要課題として残される。

ほぼ同時期に沿岸域に分布した稚魚と湖内に分布した稚魚の体サイズは、沿岸域に分布した稚魚でより大きかった (Fig. 42)。鳥澤<sup>10)</sup>は、流出河川である網走川に設置した「ふくべ網」で採集された、まさに降海途上にある稚魚の体長組成と、同時期に湖内で採集された稚魚との体長組成を比較した。その結果、一定した特徴は認められず、降海が体サイズに依存したものではないことを述べている。本研究で、沿岸域で採集された個体がいっ降海したものかは明らかではなく、必ずしも大型個体が降海したとは判断できない。また、稚魚の肥満度は沿岸域で採集された個体の方が、湖内で採集された個体よりも低い値であった。肥満度が栄養状態を指標すると考

えると、この時期に沿岸域に生息する個体は湖内の個体よりも栄養状態が悪いことも考えられる。稚魚の主な餌生物であるカイアシ類について、沿岸域と湖内でそれらの分布量を比較した結果、湖の方が圧倒的に多かった。このことが、湖に生息する個体の肥満度が高かった一つの要因となっていることも考えられる。一方で、肥満度は魚類の体型をも指標する。サケ科魚類では降海前に体色が銀色となりスモルト化という現象が知られている。サケ化魚類のスモルト化は淡水生活型のパー (parr) から、海水生活への移行に先だって起こる。この時、スモルト化した個体の体型は外見上スリムでパーに比べてより流線型の体型となる。このことは同時に肥満度の低下をも意味する。ワカサギ稚魚の沿岸域と湖内での肥満度の相違は、単に栄養状態を指標しているよりも、海洋生活への適応といった生理的要因を伴った体型の変化によってもたらされたとも考えられる。

### 5.2. 摂餌

網走湖産ワカサギ稚魚の主な餌生物は枝角類の*D. brachyurum*、カイアシ類の*S. tenellus*、アミ類の*N. intermedia*などの甲殻類プランクトンであった (Table 23)。特にカイアシ類は湖内および沿岸域に生息する稚魚の餌生物として重要であり、沿岸域で採集された稚魚もカイアシ類を最も多く摂餌していた (Table 24)。石田<sup>98)</sup>は、網走湖産ワカサギ稚魚の胃内容物はカイアシ類が最も多くを占めることを報告し、なかでも*S. tenellus*の重要性を指摘している。また、山中・桑原<sup>99)</sup>は、1995年に網走沿岸域で地曳網により採集されたワカサギ稚魚の胃内容物を調査し、甲殻類プランクトンがワカサギ稚魚1個体当たりの胃内容物中で、個体数組成で80%以上を占め、なかでも7月から8月にはカイアシ類の*Eurytemora herdmani*、9月から10月には同じくカイアシ類の*Paracalanus parvus*の量的重要性を指摘している。

これまで、いくつかの淡水湖沼でワカサギ稚魚の胃内容物組成を観察した例では、稚魚の主な餌生物としてカイアシ類の他に、*Bosmina*属、*Daphnia*属、*Leptodora*属などの枝角類の数種も胃内容物組成として重要であることが報告されている<sup>68,100-102)</sup>。さらには、羽化期のユスリカ幼虫なども主な餌生物として挙げられている<sup>3,103)</sup>。しかし、汽水環境にある小川原湖産ワカサギ稚魚の胃内容物は、*S. tenellus*と*N. intermedia*が特に重要であり、網走湖産ワカサギ稚魚と同様に比較的単純である<sup>5)</sup>。一般に、汽水域の動物プランクトン相は単純であり、汽水環境に適応した数種が量産するとされ<sup>104)</sup>、このことが汽水域に生息するワカサギ稚魚の胃内容物にも反映されるのであろう。

胃充満度指数の時刻変化から見た稚魚の摂餌活動は、明瞭な日周期性が観察されなかったが、各時刻での胃充満度指数は異なることが多く、正午を境に朝方に高い場合と夕方に高い場合の二つの傾向が認められた (Fig. 40)。諏訪湖産ワカサギについて、24時間を通して稚魚の摂餌日周性を観察した白石<sup>3)</sup>は、稚魚は1日の内で朝夕2回、胃内容物重量のピークがあったことを報告している。ただし、これは必ずしも普遍的なものではなかったとも言及している。稚魚の摂餌日周性については、稚魚を1日の内でいつ採集すれば最も正確に摂餌状況を把握出来るかという点で重要であり、更に検討を加える必要がある。

ワカサギ稚魚の水温22℃での消化速度は体サイズによらず0.197/時と推定された (Fig. 41)。水温約22℃での他の魚種で報告された値と比較すると、ニジマスでは0.05/時<sup>52)</sup>、ヒメマスでは0.25/時<sup>105)</sup>であり、ワカサギ稚魚の消化速度はこれらの値の間にあることがわかる。また、稚魚の日間摂餌量は日中の約10時間で、稚魚1個体の体重当たり3.0~6.1%、平均約4.5%と推定された。佐々木<sup>106)</sup>は、霞ヶ浦産ワカサギで水温19.6℃の水槽内で飼育した体重0.02~1gのワカサギに、冷凍したイサザアミと枝角類 (*Moina* sp.) を与え、24時間後の餌の投与量と残餌量との差から日間摂餌量を推定している。ここでは、詳しい数値は記述されていないが、体重と日間摂餌量との関係を示した結果の図から類推して、日間摂餌量は約4%と読み取ることができ、本研究で得られた値と同程度であった。網走湖の7月から9月の平均水温は、いずれの年も約21~22℃である。この間の消化速度は等しく日間摂餌量も約4.5%と仮定すると、鳥澤<sup>10)</sup>による1994年から1997年までの湖中残留群の初期資源量は約26.2~56.6トンと推定され、ワカサギ稚魚による1日当たりの総摂餌要求量はこの4.5%の1.2~2.5トンと試算される。

### 第3節 カイアシ類 *Sinocalanus tenellus* の個体群動態と生産量の見積もり

これまで、ワカサギ初期生活を通してその生活様式を述べてきたが、網走湖におけるカイアシ類 *S. tenellus* は周年を通して最も卓越して出現するとともに仔稚魚の重要な餌生物の一つでもあった。また、春季の本種の消長が仔魚の生残や稚魚の成長までもにも影響を及ぼす可能性も指摘した。このように、ワカサギの初期生活にとって本種の動態は無視することが出来ない。そこで、本研究では1995年に周年を通して本種の季節消長を調査した。本節では、本種の周年を通じた個体群密度、個体群構造

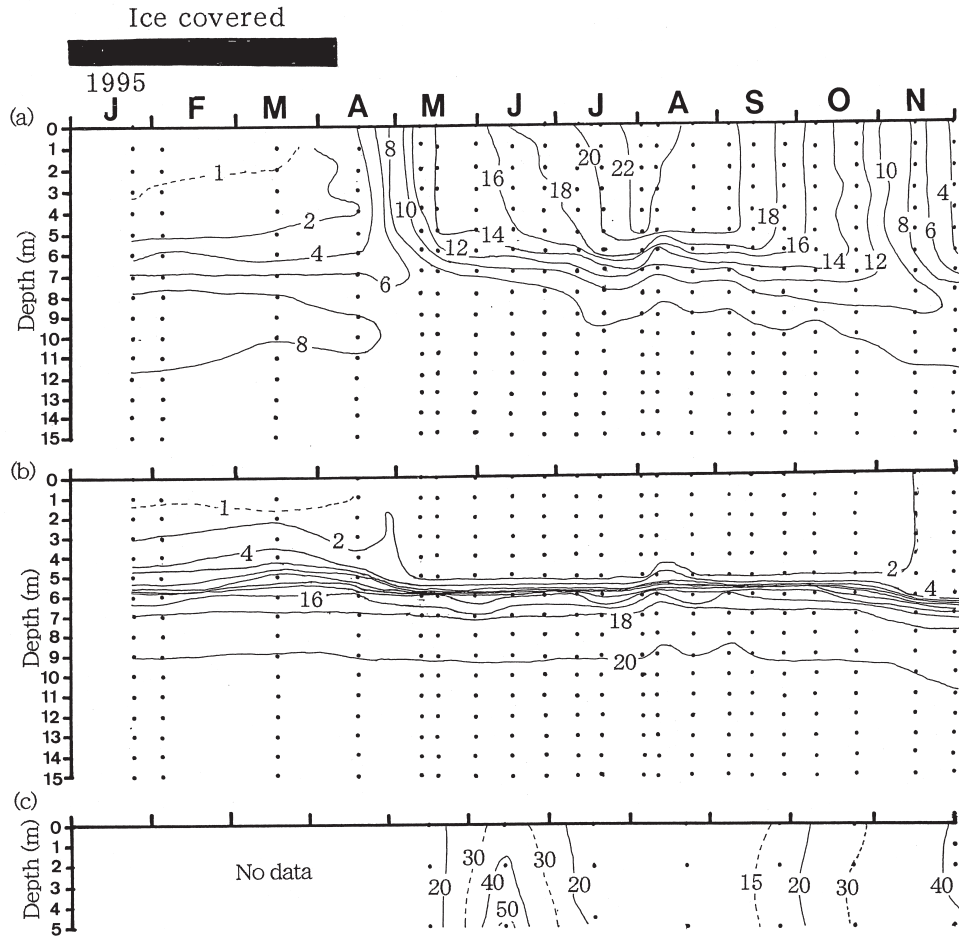
および個体群生産などの個体群動態について述べる。

#### 1. 環境要因

水温は結氷期の1月から3月までは、2m以浅では1℃以下、2mから5mまでは約1~2℃と極めて低かった (Fig. 43a)。しかし、5m以深では2℃から8℃まで深度が増すにつれて上昇した。解氷後の4月中旬には表層から5mまでほぼ4℃となり、これ以降5月上旬にかけて水温は急激に上昇し5月中旬には表層から5mまでほぼ均一に約14℃となった。5月から9月には、5~7m付近にかけて水温躍層が観察され、8月上旬の表層で最高水温23℃を記録した。その後、5m以浅の水温は10月下旬まで緩やかに下降し12℃となった。以降、水温は急激に下降し続け、11月下旬には表層から6mまで均一に約4℃となった。塩分は、1月から4月中旬には1m以浅で1psu以下、1mから4mは1~3psuと緩やかに上昇し、4mから5mにかけては3~12psuと増加し、顕著な塩分躍層が観察された (Fig. 43b)。この顕著な塩分躍層は5月から10月までは5~6m層にあり、それ以浅での塩分は1~2psuの値であった。クロロフィル *a* 量は、6月を除き塩分躍層以浅でほぼ鉛直的に均一で、5月から11月にかけて約10~50μg/lの高濃度で推移した (Fig. 43c)。特に、クロロフィル *a* 量は5月から6月にかけて約20μg/lから50μg/lまで急激に増加した。その後、7月から9月には約15μg/lまで減少するが、9月以降再び増加し、11月下旬には約40μg/lとなった。

#### 2. 発育段階別の個体数の季節消長

*S. tenellus* の個体数を発育段階毎に Fig. 44 に示した。結氷期には卵の採集量は  $3.4\sim 4.9\times 10^4$  個/m<sup>2</sup>/日であった。この時期にはノープリウス期およびコペポダイト1~2期の個体は全く出現せず、コペポダイト3期と4期の個体が1月下旬にそれぞれ、 $6.0\times 10^2$  個体/m<sup>2</sup> および  $3.0\times 10^2$  個体/m<sup>2</sup> で出現した。また、コペポダイト5期の個体が1月下旬から3月中旬に、 $7.0\times 10^2\sim 1.5\times 10^3$  個体/m<sup>2</sup> で出現した。一方、成体は1月下旬に約  $5.9\times 10^5$  個体/m<sup>2</sup> と高い個体数で分布していた。しかし、その後は急激に減少し、3月中旬には  $5.1\times 10^4$  個体/m<sup>2</sup> となった。成体は雄が  $3.3\times 10^4\sim 4.1\times 10^5$  個体/m<sup>2</sup>、雌が  $1.8\times 10^4\sim 1.8\times 10^5$  個体/m<sup>2</sup> の個体数で出現し、雄の個体数が高く推移した。解氷直後の4月中旬から下旬には、ノープリウス期個体が  $5.6\times 10^2\sim 5.9\times 10^3$  個体/m<sup>2</sup> で出現したが、コペポダイト1~5期の個体は全く出現しなかった。また、成体は結氷期からさらに減少し、4月下旬には90個体/m<sup>2</sup> となり、雌は採集されなかった。5月初旬



**Fig.43** Seasonal changes in water temperature (°C) (a), salinity (psu) (b) and chlorophyll *a* concentration ( $\mu\text{g}/\ell$ ) (c) profiles at St.9 in Lake Abashiri. Note that the lake was covered with ice from January to early April.

には卵，ノープリウス期およびコペポダイト1～3期の個体が増加した。これらの増加に引き続いてコペポダイト4～5期と成体が5月下旬に増加した。特に成体は雄が $2.4 \times 10^5$ 個体/ $\text{m}^2$ ，雌が $1.8 \times 10^5$ 個体/ $\text{m}^2$ ，合計 $4.2 \times 10^5$ 個体/ $\text{m}^2$ まで急激に増加した。6月には卵は $1.1 \times 10^6$ 個/ $\text{m}^2$ /日の年間最大採集量を記録したが，7月には再び $1.4 \times 10^5$ 個/ $\text{m}^2$ /日まで減少した。ノープリウス期も同様に6月から7月にかけて $1.1 \times 10^5$ 個体/ $\text{m}^2$ から $3.1 \times 10^4$ 個体/ $\text{m}^2$ まで減少した。6月から7月にかけてコペポダイト1～5期の個体は，コペポダイト1期が $6.9 \times 10^3 \sim 4.8 \times 10^4$ 個体/ $\text{m}^2$ ，コペポダイト2期が $8.0 \times 10^3 \sim 3.6 \times 10^4$ 個体/ $\text{m}^2$ ，コペポダイト3期が $5.7 \times 10^3 \sim 3.3 \times 10^4$ 個体/ $\text{m}^2$ ，コペポダイト4期が $2.5 \times 10^3 \sim 2.0 \times 10^4$ 個体/ $\text{m}^2$ ，コペポダイト5期が $4.5 \times 10^2 \sim 2.5 \times 10^4$ 個体/ $\text{m}^2$ の個体数で，それぞれ推移した。成体は雄が雌よりも若干高い個体数で推移した。そして，ノープリウス期やコペポダイト期に比べて高い個体数を保持し，7月中旬には年間最大値 $9.2 \times 10^5$ 個体/ $\text{m}^2$ を記録した。8月から10月にかけて卵の採集量は， $4.5 \sim 6.9 \times 10^5$ 個/ $\text{m}^2$ /日と再び

増加した。ノープリウス期も増加し，9月下旬には $5.2 \times 10^5$ 個体/ $\text{m}^2$ に達した。コペポダイト期個体は，コペポダイト1期が最も高い個体数で $1.4 \sim 7.6 \times 10^4$ 個体/ $\text{m}^2$ ，コペポダイト5期が最も低い個体数で $1.0 \times 10^3 \sim 1.4 \times 10^4$ 個体/ $\text{m}^2$ で推移した。一方，成体は雌雄ともに激減し，雄が $2.4 \sim 7.9 \times 10^4$ 個体/ $\text{m}^2$ ，雌が $1.4 \sim 4.9 \times 10^4$ 個体/ $\text{m}^2$ ，合計 $3.8 \times 10^4 \sim 1.3 \times 10^5$ 個体/ $\text{m}^2$ の個体数で推移した。11月になると卵，ノープリウス期，およびコペポダイト1～5期の個体はともに減少し，コペポダイト1期と2期の個体は消失した。しかし，成体は漸増し，11月下旬には雄が $9.1 \times 10^4$ 個体/ $\text{m}^2$ ，雌が $5.1 \times 10^4$ 個体/ $\text{m}^2$ ，合計 $1.4 \times 10^5$ 個体/ $\text{m}^2$ の個体数となった。

各発育段階の個体数の季節変化から，ノープリウス期と成体が特に優占し，結氷期から解氷直後の一時期を除いて， $10^4 \sim 10^5$ 個体/ $\text{m}^2$ の個体数レベルで出現することが観察された。さらに，成体は季節的に大きく個体数が変動し，その季節変化の特徴から以下の3つの時期に分けられた。第1には結氷期から解氷直後の1月下旬から4月下旬の時期で，個体数が大きく減少する時期である