

春季の石狩湾において優占するカイアシ類数種の年変動

浅見大樹*¹, 嶋田 宏*², 石田良太郎*³, 高柳志朗*²

Interannual variabilities of a few dominant copepods abundances during spring in Ishikari Bay, western Hokkaido, Japan

Hiroki ASAMI*¹, Hiroshi SHIMADA*², Ryotaro ISHIDA*³ and Shiro TAKAYANAGI*²

Interannual variabilities of a few dominant copepods abundances through winter to spring were investigated from 2001 to 2004 at one station (J32) of central part of Ishikari Bay, western Hokkaido, established as one of the monitoring stations by Hokkaido Fisheries Experiment Station. Another station of near coastal area was added in only 2001. The maximum abundances of zooplankton were observed in May of all years, following by the spring phytoplankton blooms. Copepods were main components of total zooplankton abundances, and numerical compositions of copepods to total zooplankton abundances occupied more than 90% in their maximum level. Six copepod species such as *Neocalanus* spp., *Mesocalanus tenuicornis*, *Pseudocalanus newmani*, *Clausocalanus pergens*, *Metridia pacifica*, and *Oithona* spp. were determined as dominant species. Among them, three species of *Neocalanus* spp., *P. newmani* and *M. pacifica* were representative species in spring copepods community. As another feature derived from the present study, *Oithona* spp. in April were the most numerous in 2001 of all four years. Ishikari herring of 2001 year class is known to be very strong. One of the possible factors of this strong year-class occurrence was discussed in relation to copepod variabilities.

キーワード：カイアシ類, 水温, 植物プランクトン春季大増殖, 石狩湾系ニシン

まえがき

北海道西部に位置する日本海に面した開放型の湾である石狩湾は古くからサケ, ニシン, ホッケ, スケトウダラ, カレイ類などの好漁場として知られる¹⁾。このため, 現在まで石狩湾の物理・化学環境に関する調査研究も行われてきた²⁻¹⁰⁾。生物環境, 特に動物プランクトンについては, その現存量についての調査研究が行われてきた¹¹⁻¹⁵⁾。さらには, 動物プランクトンの出現種まで言及した知見

もあるが¹⁶⁻¹⁹⁾, これらは, 調査域が極く沿岸域の表層に限られたり, 調査時期も1年のうちのある一時期であるものが多い。

一般に, 動物プランクトン群集の中でもカイアシ類は数量的に最も卓越し, 食物連鎖の中で植物プランクトンと高次の魚類を繋ぐ動物群として極めて重要な役割を担っている²⁰⁾。このような見地から, 多くの水産資源を支える低次生物生産を論ずる時, カイアシ類の調査研究は不可欠である。また, 多くの重要な水産資源は春季に稚

報文番号 A446 (2009年12月9日受理)

*1 北海道立稚内水産試験場 (Hokkaido Wakkanai Fisheries Experiment Station, Suehiro 4-5-15, Wakkanai Hokkaido 097-0001, Japan)

*2 北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experiment Station, Hamanaka-cho Yoichi Hokkaido, 046-8555, Japan)

*3 北海道立釧路水産試験場 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experiment Station, Hama-cho Kushiro Hokkaido, 085-0024, Japan)

Table 1 List of zooplankton samples used in this study.

Year	Station	Date	Time	Wire length (m)	Angle (degree)	Estimated depth of haul (m)
2001	J32	Jan. 31	13:40	85	37	68
		Mar. 12	15:00	80	42	59
		Apr. 25	14:40	90	28	79
		May. 14	18:55	95	15	92
		June 11	19:20	90	40	69
2001	J3A	Jan. 31	16:25	20	14	19
		Apr. 25	19:10	28	28	25
		May. 14	22:20	20	12	20
		June 11	22:30	20	54	12
2002	J32	Feb. 21	19:25	90	26	81
		Mar. 13	20:05	90	23	83
		May 14	1:04	100	26	90
		June 4	20:13	85	13	83
2003	J32	Feb. 18	14:30	92	13	90
		Apr. 10	15:30	90	20	85
		May 12	15:30	90	7	89
		June 6	0:20	90	46	63
2004	J32	Feb. 2	2:13	80	20	75
		Apr. 19	8:20	90	26	81
		May 11	13:46	110	37	88
		June 3	23:42	90	0	90

仔魚期を過ごすことから、これら資源の重要な餌生物である動物プランクトンの種組成や出現量を把握することは水産資源の生態あるいは資源変動要因を知る上で有益な知見となるであろう。本報告では、動物プランクトンの中でもカイアシ類に焦点を当て、冬季から春季にかけてのカイアシ類の季節変化を観察し、それらの中でも特に春季に優占する数種の個体数密度の年変動およびその要因について述べたものである。

材料および方法

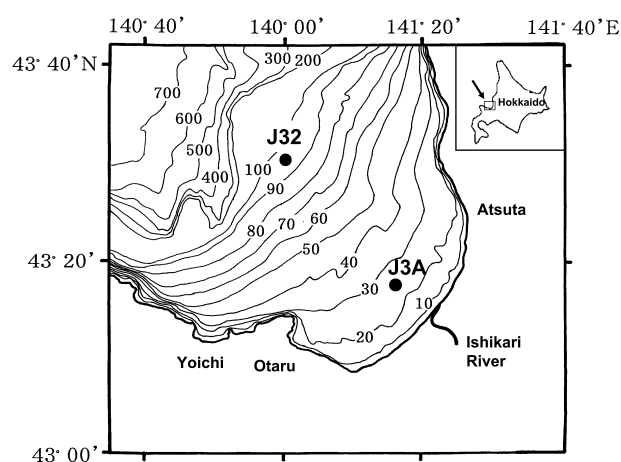


Fig.1 Sampling stations (St. J32 and J3A) in Ishikari Bay, western Hokkaido during winter to spring seasons from 2001 to 2004. St. J3A was investigated only in 2001.

動物プランクトンの採集は中央水産試験場所属おやしお丸 (178トン) により、2001年から2004年までの4か年に亘り、石狩湾の湾中部に設けた海洋観測定点の一つであるJ32 (水深95m) で、1月から6月の期間に4~5回の頻度で行った (Fig.1)。さらに、2001年の1年間のみ、湾岸部に定点J3A (水深25m) を設けて動物プランクトンの採集を行った。ただし、3月は欠測した。本研究で用いた標本は全部で21標本であり、動物プランクトンの採集は昼夜の区別無く行った (Table 1)。動物プランクトンの採集は改良型ノルバックネット (口径45cm, 網目幅0.335mm) を用いて海底直上からの鉛直曳きを原則として行ったが、採集時の悪天候により傾角がつき、必ずしも海底直上から曳網出来ない時もあった (Table 1)。動物プランクトンの採集時には、ネットの口部に濾水計 (離合社製) を取り付け、濾水量を見積もった。標本は船上で直ちに5%中性ホルマリンで固定し、実験室に持ち帰った後、元田式分割器^{21, 22)}を用いて適宜分割し (1/8~1/4分割)、実体顕微鏡下で大分類群別に目レベルまで計数した。さらに、カイアシ類については可能な限り、属あるいは種まで査定した。カイアシ類の優占種は、各採集日ごとの出現種数および各種の出現個体数 (個体/m³) を総和し、下式から算出した1種あたりの出現個体数 (平均値) より高い値を示した種として定義した²³⁾。

$$\text{優占種 } Ni > (1/S) \sum Ni$$

Ni : 第*i*番目の個体数, S : 出現種数

なお、本研究では*Neocalanus*属の2種 (*Neocalanus plumchrus*と*Neocalanus flemingeri*) を*Neocalanus* spp.,

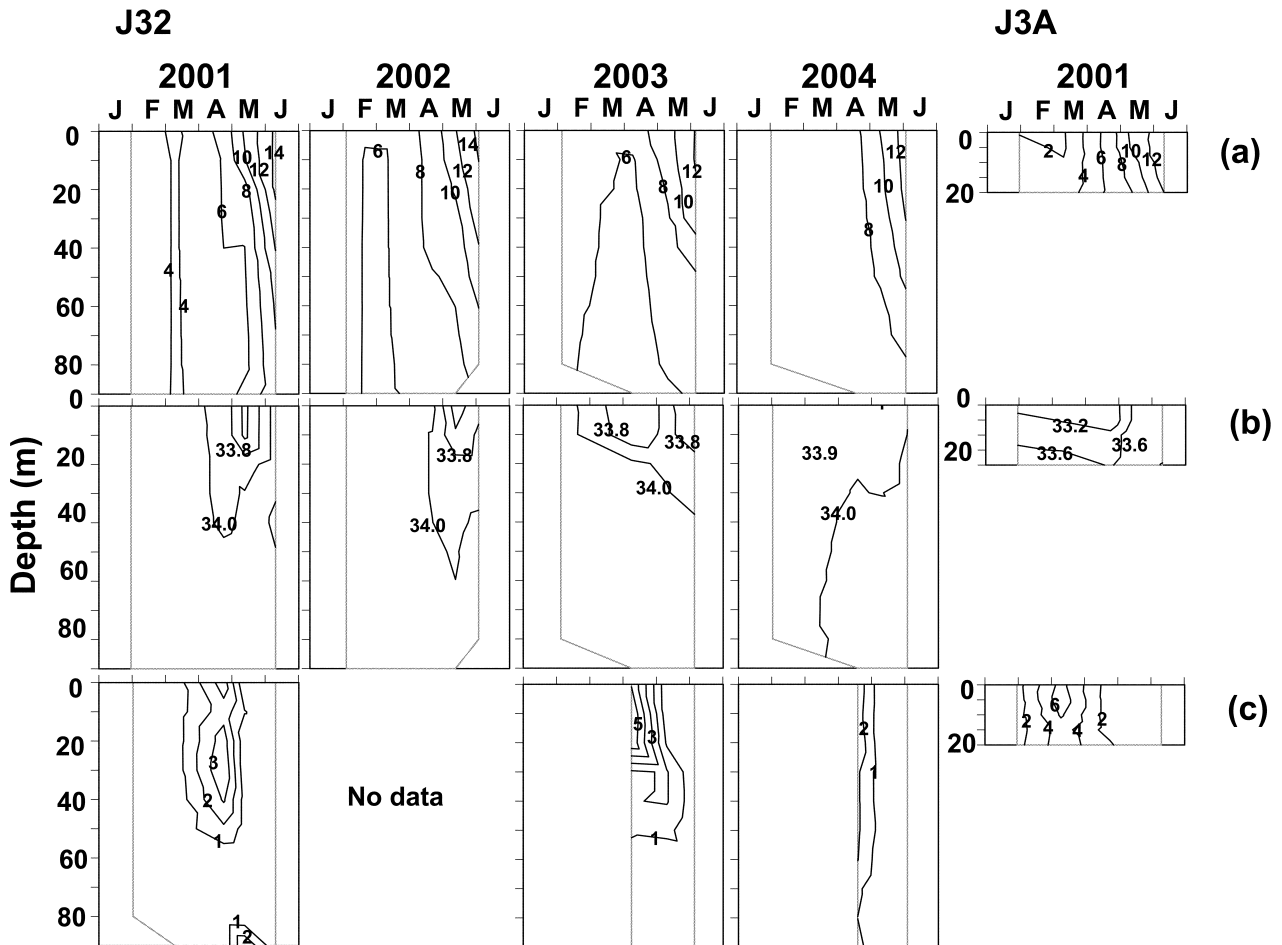


Fig.2 Seasonal profiles of (a) water temperature (°C), (b) salinity and (c) chlorophyll a concentrations ($\mu\text{g/L}$) during winter to spring seasons from 2001 to 2004.

*Oithona*属を*Oithona* spp.として扱った。

動物プランクトンの採集の他に、植物プランクトン量の指標としてクロロフィル a 量の測定のための試水を、2001年は1月から6月までの間にJ32およびJ3Aの両地点で合計5回、2003年と2004年は4月から6月までの間にJ32で合計3回の頻度で採水した(2002年は欠測)。試水はナンセン採水器によりJ32では10m間隔で合計9層、J3Aでは5m間隔で合計4層から採水した。表面水はバケツで採水した。採水後は、船上で直ちに試水300mlをWhatmann GFFフィルターで濾過し、フィルターをアルミ фольで包み遮光して凍結保存した。フィルターは実験室に持ち帰った後、90%アセトンに浸漬することによりクロロフィル a を抽出し、蛍光光度計(TURNER MODEL 10AU)でクロロフィル a 量を測定した。

また、動物プランクトンの採集時にはCTDにより、水温と塩分を観測した。表面水はバケツで採水し、表面水温は棒状水温計で観測した。表面塩分は塩検瓶に表面水を採水し、実験室に持ち帰った後、塩分計(AUTOSAL MODEL 8400B)で測定した。

結果

1. 水理環境およびクロロフィル a 量

湾央部定点J32における水温は、1~4月まではほぼ鉛直的に同様であり、5月以降40~60m以深で水温は徐々に上昇した(Fig. 2a)。1月から4月の水温は、2001年には全層均一に6°C以下、3月上旬には4°C以下の水も認められ、最も低水温であった。次いで、2003年には3~4月にかけて表層10m以浅で6°C以下となり、2001年に次いで低水温であった。これらの2か年に比較して、2002年と2004年は高水温の傾向があり、2002年に2~3月にかけて10m以深で6°C以下となったものの、両年ともにほぼ6~8°Cの水温であった。5月以降の水温は、2001年は他の3か年よりも水温上昇が顕著であり、5月上旬の8°Cから急激に上昇し、6月中旬には表層で14°Cまで達した。水温の推移と比べて塩分の変動は小さく、各年ともに概ね約34.0の水が占めていた(Fig. 2b)。しかし、2001年は4月上旬以降に40m以浅で、2002年は4月下旬以降に60m以浅で、2003年は2月下旬以降に30m以

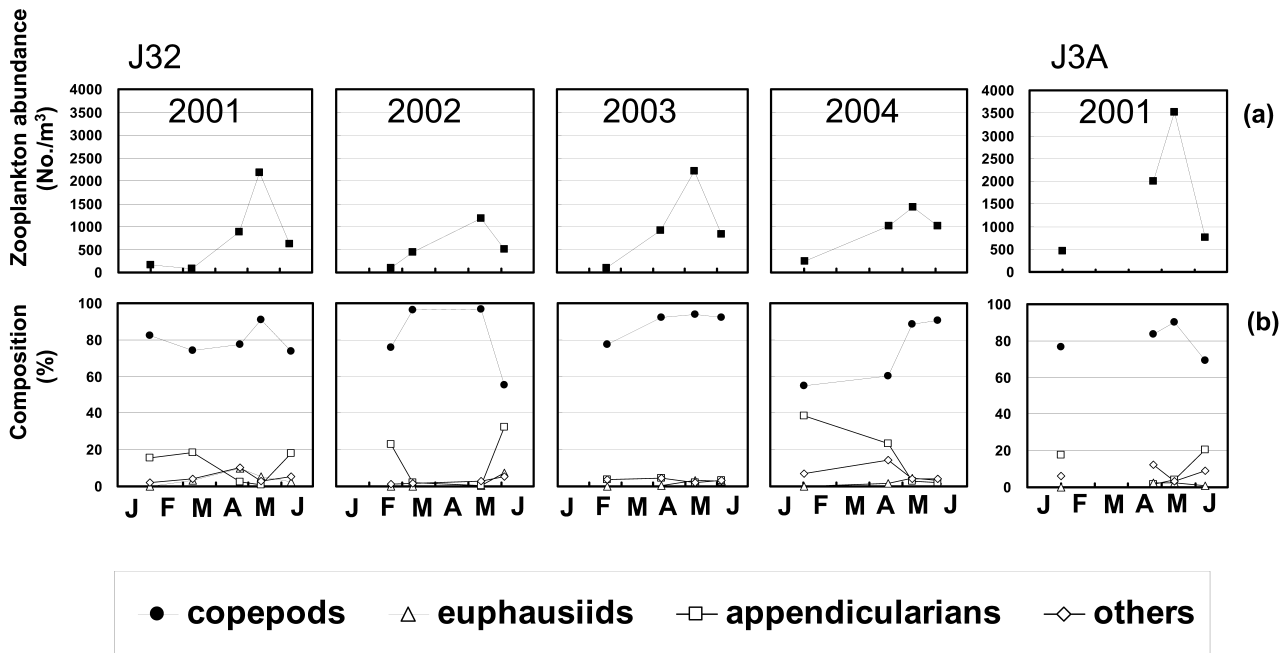


Fig.3 Seasonal changes of (a) zooplankton abundances (No./m³), and (b) numerical taxonomic compositions during winter to spring seasons from 2001 to 2004.

浅で、それぞれ34.0以下となった。2004年は調査期間を通じて33.9~34.1と、塩分の季節変動は小さかった。クロロフィル *a* 量は、34.0以下の塩分が表層に認められた時に増加する傾向があり、2001年には4月下旬に約30mで3 μ g/L, 2003年には4月上旬に約20mで浅で5 μ g/Lの高濃度に達した (Fig. 2c)。

2001年、湾岸部定点 J3A における水温は、J32と比較して2~3月に低く、2~4℃であった (Fig. 2a)。しかし、その後は鉛直的に均一に、J32とほぼ同様に推移した。塩分はJ32よりも明らかに低塩分であり、5月上旬まで33.6以下の水で占められた (Fig. 2b)。また、2~4月には10m以浅では33.2以下と低塩分であった。クロロフィル *a* 量はJ32よりも約1か月半早い、3月上旬に10m以浅で約6~7 μ g/Lまで増加し、顕著な春季大増殖が観察された (Fig. 2c)。

2. 動物プランクトンの総個体数密度および組成

湾中部定点 J32 における動物プランクトン総個体数密度は、2001年は82~2,177個体/m³, 2002年には104~1,175個体/m³, 2003年には96~2,277個体/m³, 2004年には247~1,428個体/m³まで変動した (Fig. 3a)。動物プランクトン総個体数密度は、4か年を通して4月から5月にかけて増加して、5月に最大密度に達した後、6月には再び減少した。カイアシ類は動物プランクトン群集の中で、個体数の上で最も優占する動物群であり、総動物プランクトン個体数密度に占める割合は、2001年には73.8~

91.0%, 2002年には55.2~96.6%, 2003年には77.5~94.1%, 2004年には54.8~90.7%を占めた (Fig. 3b)。そして、各年ともに動物プランクトン総個体数密度が最大に達した5月には、カイアシ類が約90%以上を占めた。カイアシ類の組成率が低下した時は、尾虫類がカイアシ類に次いで優占した動物群であり、2001年1月、3月および6月には15.5~18.6%, 2002年2月に22.8%と4月に32.3%, 2003年2月には18.7%, 2004年2月と4月にはそれぞれ、38.3%および23.5%を占めた。

2001年、湾岸部定点 J3A における動物プランクトン総個体数密度は466~3,526個体/m³まで変動した (Fig. 3a)。湾中部定点 J32 と同様に、動物プランクトン総個体数密度は4月から5月にかけて急激に増加し、5月にはJ32よりも高密度の3,526個体/m³に達した。J3Aでもカイアシ類は個体数の上で最も卓越した動物群であり、総動物プランクトン個体数密度の76.5~90.1%を占めた (Fig. 3b)。また、カイアシ類に次いで尾虫類が1月と6月に17.5%および20.6%を占めた。

3. カイアシ類の出現種および優占種の季節推移

J32におけるカイアシ類の出現種は、4か年で未査定種1種を含む19属23種であった (Table 2)。出現種は、2004年に他の年よりも若干多かったものの、4年間を通じて大きく異なることはなかった。2001年のJ3Aでは未査定種1種を含む13属15種のカイアシ類が出現し、2001年のJ32での未査定種1種を含む15属18種よりも若

Table 2 Copepods species appeared at St.32 from 2001 to 2004, and at St.J3A in 2001. Solid circles (●) indicate dominant species.

J32 2001	2002	2003	2004	J3A 2001
CALANOIDA <i>Calanus pacificus</i> <i>Neocalanus cristatus</i> ● <i>Neocalanus</i> spp. ● <i>Mesocalanus tenuicornis</i> <i>Eucalanus bungii</i> <i>Paracalanus parvus</i> <i>Pseudocalanus minutus</i> ● <i>Pseudocalanus newmani</i> ● <i>Clausocalanus pergens</i> <i>Microcalanus pygmaeus</i> <i>Paraeucaeta elongata</i> <i>Scolecithricella mior</i> ● <i>Metridia pacifica</i> <i>Tortanus discaudatus</i> unidentified calnoid	CALANOIDA <i>Calanus pacificus</i> <i>Neocalanus cristatus</i> ● <i>Neocalanus</i> spp. ● <i>Mesocalanus tenuicornis</i> <i>Eucalanus bungii</i> <i>Paracalanus parvus</i> <i>Pseudocalanus minutus</i> ● <i>Pseudocalanus newmani</i> <i>Clausocalanus pergens</i> <i>Ctenocalanus vanus</i> <i>Paraeucaeta elongata</i> <i>Scolecithricella mior</i> ● <i>Metridia pacifica</i> <i>Tortanus discaudatus</i>	CALANOIDA <i>Calanus pacificus</i> <i>Neocalanus cristatus</i> ● <i>Neocalanus</i> spp. ● <i>Mesocalanus tenuicornis</i> <i>Eucalanus bungii</i> <i>Paracalanus parvus</i> <i>Pseudocalanus minutus</i> ● <i>Pseudocalanus newmani</i> <i>Clausocalanus pergens</i> <i>Ctenocalanus vanus</i> <i>Paraeucaeta elongata</i> <i>Scolecithricella mior</i> ● <i>Metridia pacifica</i> unidentified calnoid	CALANOIDA <i>Calanus pacificus</i> ● <i>Neocalanus</i> spp. ● <i>Mesocalanus tenuicornis</i> <i>Eucalanus bungii</i> <i>Paracalanus parvus</i> <i>Pseudocalanus minutus</i> ● <i>Pseudocalanus newmani</i> <i>Clausocalanus pergens</i> <i>Ctenocalanus vanus</i> <i>Paraeucaeta elongata</i> <i>Scolecithricella mior</i> <i>Scolecithricella</i> sp. ● <i>Metridia pacifica</i> <i>Pleuromamma gracilis</i> <i>Acartia longiremis</i> <i>Tortanus discaudatus</i> unidentified calnoid	CALANOIDA <i>Calanus pacificus</i> ● <i>Neocalanus</i> spp. <i>Mesocalanus tenuicornis</i> <i>Eucalanus bungii</i> <i>Paracalanus parvus</i> <i>Pseudocalanus minutus</i> ● <i>Pseudocalanus newmani</i> ● <i>Clausocalanus pergens</i> <i>Scolecithricella mior</i> ● <i>Metridia pacifica</i> <i>Tortanus discaudatus</i>
CYCLOPOIDA ● <i>Oithona</i> spp.	CYCLOPOIDA ● <i>Oithona</i> spp.	CYCLOPOIDA ● <i>Oithona</i> spp.	CYCLOPOIDA ● <i>Oithona</i> spp.	CYCLOPOIDA ● <i>Oithona</i> spp.
POECILOSTOMATOIDA <i>Oncaea</i> sp. <i>Corycaeus affinis</i>	POECILOSTOMATOIDA <i>Oncaea</i> sp. <i>Corycaeus affinis</i>	POECILOSTOMATOIDA <i>Oncaea</i> sp. <i>Corycaeus affinis</i>	POECILOSTOMATOIDA <i>Oncaea</i> sp. <i>Corycaeus affinis</i>	POECILOSTOMATOIDA <i>Corycaeus affinis</i>
			HARPACTICOIDA <i>Microsetella norvegica</i>	HARPACTICOIDA <i>Harpacticus uniremis</i> unidentified harpacticoid

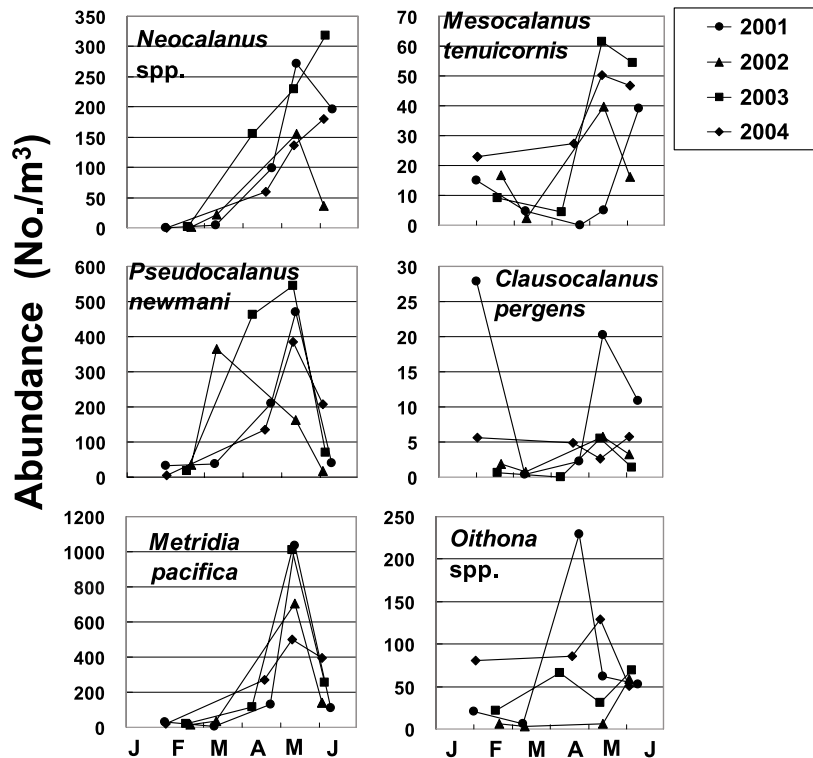


Fig.4 Seasonal abundances of six dominant copepod species (No./m³) at St.32 during winter to spring seasons from 2001 to 2004.

干少ないものの、ほぼ同様の出現種であった。J 32では、4 か年に共通した優占種として、冷水性の *Neocalanus* spp., *Pseudocalanus newmani*, *Metridia pacifica*, *Oithona* spp., 暖水性の *Mesocalanus tenuicornis* が挙げられ、2001

年のみ暖水性の *Clausocalanus pergens* が加わった (Table 2)。2001年の J 3A では、*Mesocalanus tenuicornis* を除く上記 5 種が優占種として挙げられた。そこで、J 32におけるこれら 6 優占種の季節推移を Fig. 4 に示した。

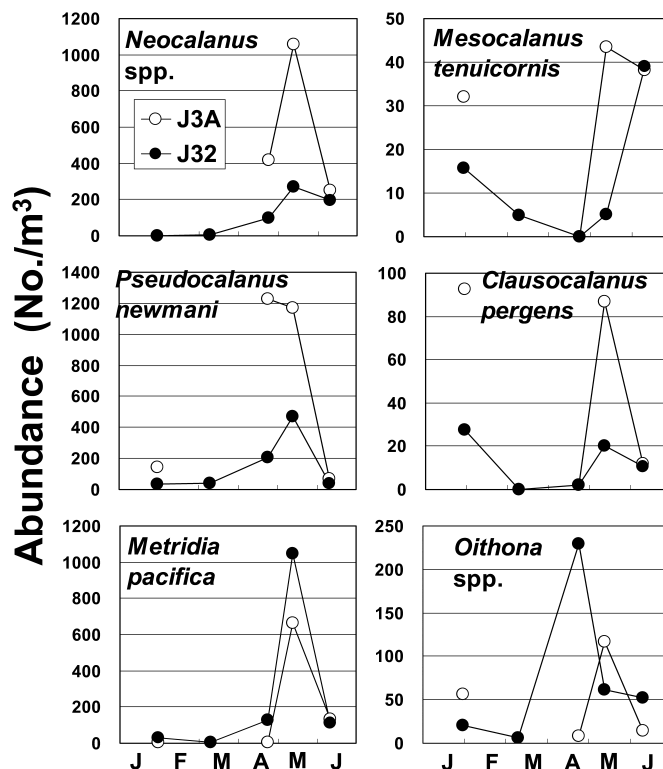


Fig.5 Comparisons of seasonal abundances of six dominant copepod species (No./m³) between St.J32 and St.J3A during winter to spring seasons in 2001. See table 1 for the sampling date.

Neocalanus spp.は1月から3月までは全く出現しないか、あるいは、極く低密度で出現した。各年ともに4月から増加し始め、2001年と2002年は5月に最大密度に達した。2003年と2004年は5月以降、さらに増加を続け6月に最高密度となった。*P. newmani*は、2002年を除き4月から5月にかけて増加し、5月に最高密度となり、6月には大きく減少した。*M. pacifica*は優占6種の中で最も個体数密度の多い種であり、*P. newmani*と同様に、4月から5月にかけて急激に増加し5月にピークとなった後、6月には急激に減少した。*M. tenuicornis*は、1~2月に各年ともに約10~20個体/m³の密度で出現したが、その後減少し、5月あるいは6月に再び増加した。上記4種と比較して、*Clausocalanus pergens*と*Oithona* spp.の季節性は不明瞭であり、*C. pergens*が2001年1月と5月、*Oithona* spp.が同じく2001年4月に増加した他は大きな特徴はな

かった。

次に、2001年1月から6月までのJ32とJ3Aにおける優占種の季節推移を比較した (Fig. 5)。*Neocalanus* spp., *M. pacifica* および*C. pergens*の季節推移は比較的良く一致した。すなわち、両地点ともに*Neocalanus* spp.と*M. pacifica*の2種は5月、*C. pergens*は1月および6月に増加した。それらの最大密度は*Neocalanus* spp.と*C. pergens*では圧倒的にJ3Aで高く (*Neocalanus* spp.は1,056個体/m³, *C. pergens*は1月に93個体/m³, 5月に87個体/m³)、*M. pacifica*は反対にJ32で1,047個体/m³と、より高密度であった。*P. newmani*は湾岸のJ3Aで4月に1,229個体/m³の高密度で出現し、この高密度は5月まで続いた。しかし、湾中央のJ32では4月から5月にかけて増加し、その極大時期には約1か月の遅れが見られた。これと似たような季節推移の違いは*M. tenuicornis*にも認められ、湾岸の

Table 3 Mean abundances (No./m³) of dominant species from April to June..

Station	J32				J3A
	2001	2002	2003	2004	2001
Dominant species					
<i>Neocalanus</i> spp.	214.0	96.1	228.4	128.8	687.4
<i>Mesocalanus tenuicornis</i>	14.2	27.8	43.9	43.7	33.1
<i>Pseudocalanus newmani</i>	289.5	90.3	417.9	279.1	853.4
<i>Clausocalanus pergens</i>	13.8	4.5	3.1	4.0	47.4
<i>Metridia pacifica</i>	577.0	423.1	593.2	418.0	373.4
<i>Oithona</i> spp.	92.6	32.4	49.1	98.3	64.2

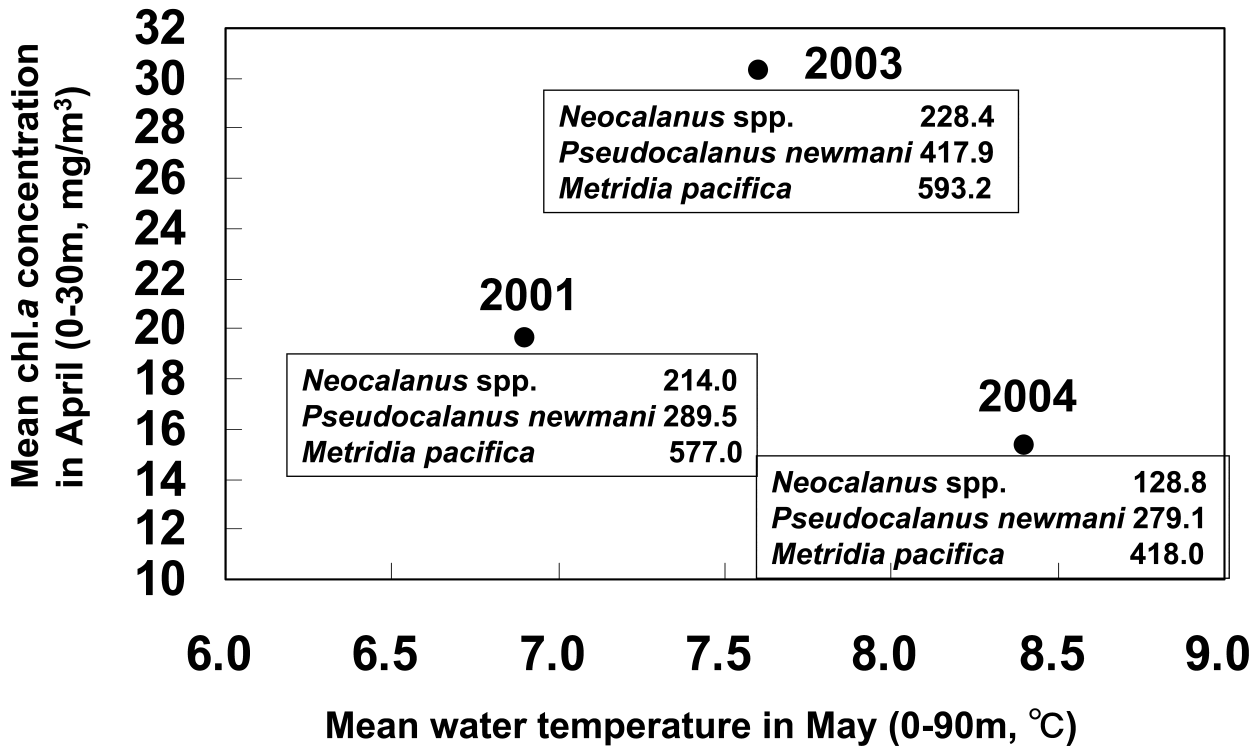


Fig.6 Mean abundances of three dominant copepod species (No./m³) at St.J32 from April to June, related to between mean water temperature throughout water column in May (0-90m, °C) and mean chlorophyll a concentrations in April (0-30m, μg/L).

J3Aでは4月に極大となり、湾央のJ32ではこれに遅れて5月に急激に増加した。Oithona spp.はP. newmaniとは反対に、湾央のJ32で4月に極大となり、湾岸のJ3Aでは1か月遅い5月に最大密度となった。

4. 優占種の春季の平均出現量と水温、クロロフィル a 量との関係

Table 3に、春季4～6月の3か月間における優占6種の平均出現量を示した。平均出現量は、各年において、調査日毎に個体数密度を積算した後、調査間隔日数で除した値とした。Neocalanus spp., P. newmani, M. pacificaの3種は、2001年と2003年に、平均出現量が明らかに多かった。また、J3Aにおける平均出現量はNeocalanus spp.とP. newmaniの2種でJ32の出現量よりも多かった。

次に、J32におけるこれら3種の春季の出現量を水温とクロロフィル a 量との関係で検討した (Fig. 6)。ここでは、水温は個体数密度のピーク時であった5月の0-90mの水柱平均水温、クロロフィル a 量はそのピークである4月の生産層0-30mの平均クロロフィル a 量とした (ただし、2002年は欠測)。そして、それぞれの年について水温とクロロフィル a 量をプロットし、優占3種の4～6月までの平均出現量を示してある。3か年の結果から、2004年は他の2年よりも高水温・低クロロフィル a

量であり、この年の優占各種の出現量は他の2か年よりも少なかった。また、水温は約7.6℃と2001年および2004年の中間的な値であったが、クロロフィル a 量は明らかに高かった2003年には、優占3種の出現量が最も多かった。

考察

1. 動物プランクトン総個体数密度の季節変化について

春季の石狩湾では湾央部地点および湾岸部地点ともに、植物プランクトンの春季大増殖に引き続いて、5月にカイアシ類を主とした動物プランクトン個体数密度の極大が観察された。そして、春季大増殖の規模がより大きい湾岸地点で、ピーク時の動物プランクトン個体数密度は、より高かった。これまで、春季に焦点を当てた石狩湾での動物プランクトンの調査研究は比較的乏しいが、小鳥¹⁴⁾は1980年代初期に全ての月を網羅していないものの、石狩湾全域で本研究と同様の網目幅を持つノルバックネット¹⁵⁾で動物プランクトンを採集し、その現存量を調べた結果、4月に明らかな極大を観察している。また、関ら²⁰⁾は、1977年から1981年の3月から7月にかけて石狩湾の極く沿岸域に設けた10～13地点で中井式プランクトンネット (口径45cm, 網目幅0.33mm) を用いて水深5mか

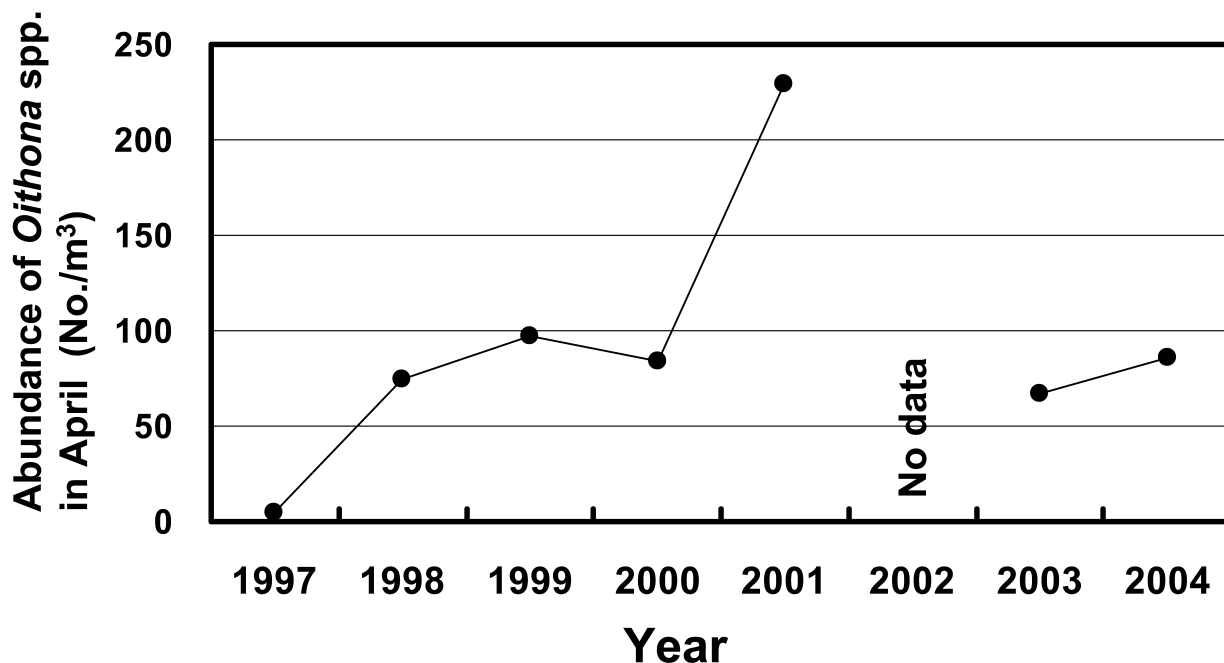


Fig.7 Abundances of *Oithona* spp. (No./m³) at St.J32 in April from 1997 to 2004 (Asami, unpublished data).

らの鉛直曳きを行って動物プランクトンを採集し、その個体数密度を調査した結果、3～4月にカイアシ類を主とした個体数密度のピークを観察している。これらの過去の知見と本研究で得られた動物プランクトン増加時期が5月にあるということとは一致しない。石狩湾における春季の動物プランクトンの極大は、1992年を境にそれ以前の4月から5月下旬あるいは6月上旬に変化したことを示唆する報告もある²⁹⁾。春季の動物プランクトンの極大は、これに引き続き高次生物の生産を支える極めて重要な海洋条件の一つである。今後は、春季の観測をより密にして継続し、極大時期のズレをいち早く把握することが必要である。

2. 種組成について

4か年の調査を通じて出現したカイアシ類は年毎に大きな違いはなく、特に春季4～6月には*Neocalanus* spp., *P. newmani*, *M. pacifica*の3種の冷水性種が個体数の上で卓越して出現した。*Neocalanus* spp.は*Neocalanus plumchrus*と*N. flemingeri*の2種から成ると考えられ²⁶⁾、以前には*Calanus plumchrus*とされていた種である。春季の*Neocalanus* spp. (= *Calanus plumchrus*) の卓越は古くから石狩湾で報告されており、Anraku²⁷⁾は、石狩湾に面した小樽の西方にある小さな湾、忍路湾において、1946～1950年までの5年間に亘ってプランクトン調査を実施し、3月から4月にかけて本種が豊富に出現したことを報告している。また、小島¹⁴⁾は、1980年4月～1981年10月に、

石狩湾の動物プランクトン現存量の垂直分布を調査した結果、4月の10～20m層に主に*Calanus plumchrus*から成る現存量の明瞭な極大を認めている。また、前述の関ら²⁴⁾も1977～1981年3～4月に本種の優占性を認めている。さらに鹿又ら¹⁸⁾は石狩湾余市沖に設定した1定点で、1982年4月に短期間間隔で合計6回、*Calanus plumchrus*の量的な推移を調べたところ4月下旬に明らかな増加を認めている。これらの過去の知見は本研究で得られた本種の出現盛期が5～6月に観察されたことと必ずしも一致しない。Mackas et al.²⁸⁾は、アラスカ湾の1定点で1950年代前半から1990年代後半までの長期に亘る*Neocalanus plumchrus*の消長を観察し、その出現盛期が過去と現在で変化してきたことを明らかにしている。石狩湾においても、更に定点調査を継続して、このことを考察する必要がある。*M. pacifica*は春季の石狩湾で、個体数の上では最も卓越して出現した種であり、各年ともに5月に明瞭なピークを形成した。本種の春季の増加は他の海域でも報告されており^{29,30)}、その生活史も明らかにされている。また、石狩湾においても本種の生活史が推定されている³¹⁾。それによれば、本種の産卵は植物プランクトンの春季大増殖に先立って行われ、孵化した幼生は春季大増殖の豊富な餌を利用しながら急速に成長し、晩春の表層水温の上昇に伴い成長を停止して、深層で休眠期に入り、春季の植物プランクトン量と水温が本種の生活史の重要な要因と示唆されている。*P. newmani*は特に、湾岸域で明らかに多く出現し、おそらく湾岸域における豊富な植物

プランクトンが本種の高豊度と関連しているのかもしれない。石狩湾において春季に優占して出現するカイアシ類の出現量を考える上で、水温とともに植物プランクトンの春季大増殖の規模も要因の一つとして検討することが必要であろう (Fig. 6)。

本研究で優占種とされた6種の中で、*M. tenuicornis*, *C. pergens*, *Oithona* spp.の各種については、その季節性や出現量に明瞭な特徴を見出すことができなかった。しかし、4か年を通じたモニタリングにより、興味深いことの一つとして、J 32で2001年4月下旬に*Oithona* spp.が他の年よりも明らかに多く出現したことが挙げられる(229個体/m³, 全体の33.3%)。Fig. 7には、本報告で示した2001~2004年の調査結果に加えて1997~2000年の4月に得られた標本について、*Oithona* spp.の個体数密度の観察結果を示している(浅見 未発表資料)。これらの結果からも、*Oithona* spp.の高い豊度が2001年に認められる。*Oithona*属の増加要因は本研究結果からは明らかではないが、*Oithona*属の個体数密度は、10μm未満の小型植物プランクトン、あるいは10~141μmの微小な原生動物プランクトン(鞭毛虫、繊毛虫)の現存量と正の相関関係にあることが噴火湾での研究結果から明らかにされている³²⁾。さらに、本州日本海の富山湾では、*Oithona*属の優占が、その餌料である小型鞭毛藻類の生産と関連していることも示唆されている³³⁾。このように*Oithona*属の増加要因を考えるに当たっては、植物プランクトン現存量のサイズ組成や微小動物プランクトン現存量など、より詳細な調査研究が必要であり、今後の課題の一つとして挙げられる。

3. 石狩湾系ニシンの資源変動との関係

最後に、本研究で得られた春季のカイアシ類の季節および年変動と、卓越発生した石狩湾系ニシンの2001年級群³⁴⁾との関係について、若干考察した。一般にニシンの仔魚は*Pseudocalanus*属や*Oithona*属などの小型カイアシ類のコペポダイト期を好むとされる³⁵⁾。調査個体数は少ないものの、北海道北部日本海の留萌沿岸で、1997年および1998年に採集されたニシン仔魚(全長16~17mm)の消化管から、*Oithona*属や*P. newmani*が観察されている³⁶⁾。さらに、佐々木ら³⁷⁾は、6月中旬から7月上旬にかけて石狩湾河口域で採集されたニシン稚魚(全長30~40mm)の胃内容物を調べた結果、小型カイアシ類の*Oithona* spp., *Paracalanus parvus*, *Clausocalanus pergens*, 尾虫類の*Oikopleura* spp.などを観察し、特に、ニシンの再生産成功率は小型カイアシ類の個体数密度と関係していることを報告している。これらのことから、ニシンの初期生活にとって小型カイアシ類は極めて重要な餌生物であるこ

とが推察される。石田ら³⁸⁾は、石狩川河口域で7月に採集された1998~2005年級群稚魚の耳石日輪解析結果から、2001年級群を含む生残率の高い年級群は生残率の低かった年級群と比較し、仔魚期(耳石半径50~150μmの範囲)の成長速度が大きいことを明らかにした。この結果は、仔魚期に大きな成長速度を得ることは年級群豊度決定に重要な要因であることを示唆している。さらに、石田ら³⁸⁾は、仔魚期における成長速度と仔魚が経験した水温の関係を検討したところ、より高い水温を経験した個体ほど大きな成長速度を得ていたことから、仔魚期の成長速度を規定する要因として、水温の重要性を指摘している。しかし、石田ら³⁸⁾の研究では、水温は仔魚期の成長速度の個体差を僅か35%しか説明しておらず、成長速度を規定する要因には水温以外の要因も否定できない。魚類仔魚の成長速度は、水温と餌生物量に規定されることも考えられる³⁹⁾。本研究の焦点であった春季のカイアシ類については、小型カイアシ類として*P. newmani*, *C. pergens*や*Oithona* spp.が相当し、2001年に観察されたように、*P. newmani*と*Oithona* spp.は湾央J 32および湾岸J 3Aと時期を替えて湾内で広く優占したと考えられる。これら小型カイアシ類の増加がニシン仔魚期に相当する4月下旬から5月上旬と一致したことから、これら餌生物として重要な小型カイアシ類の動態も仔魚期の成長速度に関連した可能性がある。

ニシン仔魚の生き残りやその変動メカニズムの解明といった大きなテーマに挑むには、資源、生態および海洋研究など多方面からのアプローチが必要である。そして、仔魚の初期生活史の解明と同時に、仔魚を巡る食物網構造、動植物プランクトンの現存量、種組成、生産量などを時空間的により密に調査・研究することが重要である。

要約

1. 2001年から2004年までの4年間に亘り、冬季から春季にかけて石狩湾の湾央部地点で動物プランクトンを採集し、特に春季に優占して出現するカイアシ類数種の個体数密度の季節変化および年変化を調べた。また、2001年のみ湾岸部に定点を設け、同様の調査を実施した。同時に、水温と塩分の観測、クロロフィル *a* 量の測定も行った。
2. 各年ともに動物プランクトン個体数密度は5月に最も増加し、カイアシ類が個体数の上で90%以上を占めた。
3. 調査期間を通じて、*Neocalanus* spp., *Mesocalanus tenuicornis*, *Pseudocalanus newmani*, *Clausocalanus pergens*, *Metridia pacifica*, および *Oithona* spp.の6

種が優占種として挙げられた。中でも, *Neocalanus* spp., *Pseudocalanus newmani*, および *Metridia pacifica* の3種は春季に最も優占して出現する種であった。

4. その他の特徴として, *Oithona* spp.の出現量が2001年4月に多かったため, 石狩湾系ニシン2001年級群の卓越発生との関係で考察した。

謝辞

本研究を進めるに当たり, プランクトン採集調査に多大なる協力を惜しまなかった北海道立中央水産試験場所属試験調査船おやしお丸の船長並びに乗組員の皆様に感謝致します。

文献

- 1) 林 清: 第11回 北洋研究シンポジウム 北海道周辺海域に関する漁業生物と環境 1. 石狩湾における有用魚類の出現様式と生物環境. 水産海洋研究会報. 19-23 (1980)
- 2) 吉田喜一, 土門和子, 渡辺智視: 石狩湾沿岸漁場の物理・化学的環境. 北水試月報. 34(4), 1-6(1977)
- 3) 苫米地洋文, 茄子川郁夫, 渡辺智視, 土門和子: 石狩湾の環境条件 1. 春季における沿岸水の動向について. さけ別枠1978河川型研究グループレポート. 81-92 (1979)
- 4) 苫米地洋文, 茄子川郁夫, 渡辺智視, 土門和子, 鹿又一良: 石狩湾沿岸海域の環境条件 春季における沿岸水の動向について(2). さけ別枠1979河川型研究グループレポート. 71-85 (1980)
- 5) 苫米地洋文, 茄子川郁夫, 渡辺智視, 鹿又一良, 土門和子: 石狩湾沿岸海域の環境 春季における沿岸水の動向(3) およびクロロフィル *a*, フェオ色素の分布と無機窒素の分散. さけ別枠1980河川型研究グループレポート. 79-97 (1981)
- 6) 茄子川郁夫, 渡辺智視, 鹿又一良, 土門和子, 苫米地洋文: 石狩湾沿岸海域の環境 春季における沿岸水の動向(4) および栄養塩の補給様式とクロロフィル *a*, フェオ色素の分布の諸関係について. さけ別枠1981河川型研究グループレポート. 81-92 (1982)
- 7) 清水幾太郎, 真山 紘, 関 二郎: 石狩沿岸水域の春季における栄養塩について (1980年). さけ別枠1980河川型研究グループレポート. 99-107 (1981)
- 8) 清水幾太郎, 真山 紘, 関 二郎: 石狩湾沿岸域におけるサケ稚魚滞留期の環境条件. さけ別枠1981河川型研究グループレポート. 145-159 (1982)
- 9) 鹿又一良, 渡辺智視, 田中伊織, 小鳥守之, 茄子川郁夫: 石狩湾余市定点におけるクロロフィル *a* と栄養塩類の季節変化. 北水試報. 28, 1-10 (1986)
- 10) 大槻知寛: 海洋環境シリーズ「石狩湾海域生態調査」海洋観測結果から～沿岸水分布の特徴を見る～. 北水試だより. 76, 25-27 (2008)
- 11) 小鳥守之: 北海道石狩湾産プランクトン調査 昭和50年夏季および秋季の動物プランクトン生体現存量. 北海道立水産試験場報告. 19, 1-11 (1977)
- 12) 小鳥守之, 渡辺智視: 北海道石狩湾産プランクトン調査Ⅱ 昭和50年夏季“沿岸水域”における植物プランクトン量と植食性プランクトン量との関係. 北海道立水産試験場報告. 20, 1-12 (1978)
- 13) 小鳥守之: 北海道石狩湾産プランクトン調査 V 1975~1979年温暖季(6~11月)における動物プランクトンの“現存量曲線”. 北水試報. 23, 1-7 (1981)
- 14) 小鳥守之: 北海道石狩湾産プランクトン調査 VI 1980年および1981年の動物プランクトン現存量. 北水試報. 25, 1-6 (1983a)
- 15) 小鳥守之: 北海道石狩湾産プランクトン調査 VII 動物プランクトン現存量の鉛直分布. 北水試報. 25, 7-13 (1983b)
- 16) 箕田 嵩, 志賀直信, 金子 実: 沿岸域におけるさけ・ます稚魚の食性と動物プランクトン—2. 春季石狩川河口域表層における動物プランクトンの分布. さけ別枠1978河川型研究グループレポート. 99-115 (1979)
- 17) 小鳥守之, 浜岡荘司: 北海道石狩湾産プランクトン調査 III かい脚類の出現種. 北海道立水産試験場報告. 21, 1-16 (1979)
- 18) 鹿又一良, 渡辺智視, 田村真樹, 小鳥守之: 春の余市沖定点におけるカラヌスの消長と外圍条件. 北水試月報. 40, 297-303 (1983)
- 19) 関 二郎, 清水幾太郎, 真山 紘: 石狩湾沿岸における動物プランクトンの研究 I. *Tortanus discaudatus* と *Centropages abdominalis* (Copepoda: Calanoida) の分布と体サイズについて. さけます孵化場研報. 40, 21-30 (1986)
- 20) Mauchline, J: The biology of calanoid copepods. *Adv. Mar. Biol.* 33, 1-170 (1998)
- 21) Motoda, S.: Devices of simple plankton apparatus. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 7(1/2), 73-94 (1959)
- 22) 大森 信, 池田 勉: 生態学研究法講座5 動物プランクトン生態研究法. 東京, 共立出版, 1976, 229p.
- 23) 細川隆英, 加藤陸奥雄, 北沢右三, 野村健一, 田口亮平, 鳥居西藏: 新編 生態学汎論. 東京, 養賢堂,

- 1968, 478p.
- 24) 関 二郎, 真山 紘, 清水幾太郎: 石狩湾沿岸におけるサケ稚魚の餌料環境と食性について-I ー春季の沿岸部における餌料生物の水平分布-。さけまず孵化場研報. 38, 1-24 (1984)
- 25) Kotori, M. and Hirano, K.: Recently observed delay in the occurrence of spring zooplankton biomass maximum in Ishikari Bay, western Hokaido. *PICES I X Extended Abstract*. 20-27 October, 2000
- 26) Miller, B. C. and M. Terazaki: The life histories of *Neocalanus flemingeri* and *Neocalanus plumchrus* in the Sea of Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan*. 36(1), 27-41 (1989)
- 27) Anraku, M.: Seasonal distribution of pelagic copepods at Oshoro Bay, west coast of Hokkaido. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.* 3, 187-192 (1953)
- 28) Mackas D. L., R. G. Goldblatt and A.G. Lewis: Interdecadal variation in development timing of *Neocalanus plumchrus* populations at Ocean Station P in the subarctic North Pacific. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55, 1878-1893 (1998)
- 29) Hirakawa, K. and A. Imamura: Seasonal abundance and life history of *Metridia pacifica* (Copepoda: Calanoida) in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Bull. Plankton Soc. Japan*. 40(1), 41-54 (1993)
- 30) Padmavati, G., T. Ikeda and A. Yamaguchi: Life cycle, population structure and vertical distribution of *Metridia* spp. (Copepoda: Calanoida) in the Oyashio region (NW Pacific Ocean). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 270, 181-198 (2004)
- 31) 浅見大樹: 海洋環境シリーズ 動物プランクトンの生活史を調べる カイアシ類の一種, メトリエディア パシフィカ (*Metridia pacifica*). 北水試だより. 61, 22-24 (2003)
- 32) 中谷敏邦, 井出さやか, 高橋豊美: 北海道噴火湾におけるかいあし類*Oithona*属の季節的個体数変動. 水産海洋研究, 67(4), 235-243 (2003)
- 33) 平川和正, 後藤常夫, 平井光行: 富山湾におけるマイワシおよびカタクチイワシ仔魚の餌料としてのカイアシ類*Oithona*属の分布. *Bull. Plankton Soc. Japan*. 51(1), 1-12 (2004)
- 34) 高柳志朗, 田中伸幸, 三宅博哉: 1. 2001年級の特徴を探る (1) 成長・成熟・分布域などの特徴とその変化. 地域性ニシンの卓越発生メカニズム解明に迫る-北海道日本海沿岸に出現した卓越発生2001年級とその周辺-水産海洋研究. 69(2), 107-109(2005)
- 35) Blaxter, J. S. H. and J. R. Hunter: The biology of the clupeoid fishes. *Adv. Mar. Biol.* 20, 1-223 (1982)
- 36) 吉村圭三: イ 留萌海域. 平成8年~10年度 日本海ニシン資源増大プロジェクト報告書. 北海道立稚内水産試験場編. 93-99 (2000)
- 37) 佐々木正義, 石田良太郎, 高島信一, 高柳志朗: 3. 豊度決定要因としての生活環境-石狩川河口域周辺の海洋構造と餌生物の時空間分布-. 地域性ニシンの卓越発生メカニズム解明に迫る-北海道日本海沿岸に出現した卓越発生2001年級とその周辺-. 水産海洋研究. 69(2), 115-118 (2005)
- 38) 石田良太郎, 高柳志朗, 佐々木正義, 田中伊織: 石狩湾系ニシンの仔稚魚期における成長・生残過程と沿岸水温. 水産海洋研究. 73(4), 319-321 (2009)
- 39) Buckley, L. J., E. M. Caldarone and R. G. Lough: Optimum temperature and food-limited growth of larval Atlantic cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) on Georges Bank. *Fish. Oceanogr.* 13(2), 134-140 (2004)