

富山湾におけるツノナシオキアミ (*Euphausia pacifica* HANSEN) の成長と生活史*

井口直樹¹⁾・池田 勉¹⁾・今村 明²⁾³⁾

Growth and Life Cycle of a Euphausiid Crustacean (*Euphausia pacifica* HANSEN) in Toyama Bay, Southern Japan Sea

Naoki IGUCHI¹⁾, Tsutomu IKEDA¹⁾ and Akira IMAMURA^{2),3)}

Abstract

The growth and life cycle of a euphausiid *Euphausia pacifica* were investigated in Toyama Bay based on vertical haul (0-500m) samples collected with Norpac nets during 2-4 week intervals over one full year (February 1990 through January 1991). MTD nets were also towed to evaluate its vertical distribution pattern in June, September, and December 1986.

The results of Norpac nets indicated that the occurrence of eggs and larvae were from mid-February through late June. After a rapid growth (3.1mm/month) of the larvae and early postlarvae, the modal size (~10mm) of postlarvae remained unchanged from summer to winter, indicating no growth of *E. pacifica* during this season. The results of MTD nets revealed a diurnal migration pattern of *E. pacifica* in the order of 300m in June and December. However, in September, the magnitude of night ascent was reduced because of a higher water temperature barrier (>20°C) developed in the euphotic zone. This limited night ascent should have reduced feeding of this species in the euphotic zone and considered to be the major cause for its growth stagnation in Toyama Bay. After this long growth stagnation from summer to winter, *E. pacifica* grew rapidly once again through the spring phytoplankton bloom of the next year and spawned. In Toyama Bay *E. pacifica* was considered to have only one generation per year. The minimum maturity

1992年12月8日受理 日本海区水産研究所業績A第483号

1) 〒951 新潟市水道町1丁目5939-22 日本海区水産研究所

(Japan Sea National Fisheries Research Institute, Suido-cho, Niigata 951, Japan)

2) 〒936 富山県滑川市高塚364 富山県水産試験場

(Toyama Prefectural Fisheries Experiment Station, Takatsuka, Namerikawa 936, Japan)

3) 現住所 〒936 富山県滑川市高塚249 富山県沿岸漁業振興公社

(Present address: Toyama Prefectural Fish-Farming Center, Takatsuka, Namerikawa 936, Japan)

*本研究は、(農林水産技術会議一般別枠研究費, 1990-1996)「地球環境変化に伴う農林水産生態系の動態解明と予測技術の開発」の一部として行った。

size and the maximum size were 11mm and 22mm, respectively, for males and were 12mm and 23mm, respectively, for females. The estimated life span was less than 21 months. The present results are compared with those for other regions of the North Pacific.

Key words *Euphausia pacifica*, Japan Sea, life cycle, growth, vertical distribution.

緒 言

オキアミの一種である *Euphausia pacifica* (和名：ツノナシオキアミ) は、北部北太平洋に広く分布し、ベーリング海、オホーツク海、日本海などの縁辺海にも豊富に分布する (BRINTON 1962)。日本海においては今までに5属10種のオキアミ類が報告されているが (ENDO and KOMAKI 1979), *E. pacifica* は日本海の中・南部海域では量的に最も卓越する種であり、日本海のはほぼ全域にわたって分布し (PONOMAREVA 1963; 荒木 1971), 日本海100m 以浅における *E. pacifica* の推定現存量は220万トン程度であろうといわれている (小牧 1974)。 *E. pacifica* の生態特性として、本種が基本的に植食性動物プランクトンであること、大規模な日周鉛直移動を行うこと、濃密なパッチを形成すること等があげられる (MAUCLINE and FISHER 1969)。これらの生態特性により、三陸・常盤地方の沿岸水域では古くより春期に *E. pacifica* を対象とした漁業が行われており (小達 1991), 日本海においてもオキアミ漁の報告がある (小牧 1974)。また *E. pacifica* はサケ・マス・サバ・イワシ・ホッケ・スケトウダラ・ブリ・スルメイカ等の回遊性・底棲性魚介類の餌料生物となっており (沖山 1965; 小達 1991; 竹内 1972), 日本海の有用漁業資源の変動に重要な役割をはたしていると考えられる。

日本海におけるオキアミの分布・生態には PONOMAREVA (1963), KOMAKI (1967), 小牧・松江 (1958) 等による研究があるが生活史に関しては知見が乏しく、特に *E. pacifica* の生活史については殆ど解明されていないのが現状である。本研究は富山湾湾央定点において採集されたホルマリン固定標本を用いて、同水域における *E. pacifica* の成長と生活史を解析する事を目的として行った。

本文に先立ち、標本の採集にご協力頂いた富山県水産試験場調査船立山丸および日本海区水産研究所所属みずほ丸の船長ならびに乗組員の方々に御礼申し上げる。また、ご校閲いただいた小川嘉彦海洋環境部長に感謝する。

材 料 と 方 法

本研究で生活史解明に用いた標本は富山湾湾央の水深約1000m の1定点において、1990年2月から1991年1月にかけて約2-4週間おきに富山県水産試験場調査船立山丸により採集されたものである (Fig. 1)。採集には双子型ノルバックネット (網目幅0.33mm, 0.10mm) を用いて水深500m から表面まで毎秒1m で曳網した。採集が行われた時間帯は主として日中 (0400-1500時) である。昼夜鉛直分布の研究に用いた標本はこの双子型ノルバックネットの定点とほぼ同じ場所で「海洋深層資源の有効利用技術の開発に関する研究」(科学技術振興調整費, 昭和61年-63年)の一環として、1986年の6月4-5日, 9月2日, 12月5-6日の3回にわたり日本海区水産研究所調査船みずほ丸により、MTD ネット (MOTODA 1971) を用いて採集されたものである (池田ら 1987)。MTD ネットは水深700m から表層までを19層に分け、船速1.0-1.5ノットで30分から1時間曳網した。ノルバックネット, MTD ネットのいずれの採集でも、得られた標本は直ちに中性ホルマリンを最終濃度が10%になるように加え船上で固定した。各採集時にはCTD (Neil Brown 社製) を投入し、ネット採集層の水温・塩分を測定した。

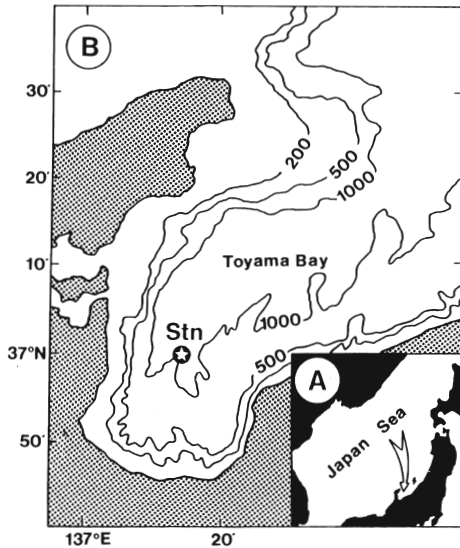


Fig. 1. A. Location of Toyama Bay in the southern Japan Sea. B. The sampling station (circled star) in Toyama Bay, in which depth contours (1000, 500, and 200m) are superimposed.

陸上の研究室において、これらのホルマリン固定標本から（双子型ノルバックネットで得られた標本は0.33mmネットによるもののみ使用）*E. pacifica* を成長段階毎に卵、幼生期（ノープリウス I-II期、メタノープリウス期、カリプトピス I-III期、フリシリア I-VII期）、後幼生期に選別した。幼生期の同定はBODEN (1950) を参照した。後幼生期はさらに外部形態により雄雌の区別が未だ不可能な幼体 (juvenile) とそれが可能な成体雄・雌に分けた。カリプトピス期、フリシリア期、後幼生期の何れも体長は額角の先端から尾節の先端までの距離を解剖顕微鏡下で0.1mmまで読みとった。8月1日と12月5日にノルバックネット（網目幅0.1mm）で得られた標本中から後幼生期36個体を任意で選び出し、体長一体重関係を調べた。体重(湿重量)は個々の標本を少量の蒸留水で洗浄し、濾紙上ですばやく水分を除いた後、電子天秤(Mettler M3)を用いて1 μ gまで測定した。雄は交接器 (petasuma)、雌は受精囊 (thelycum) と卵巣の発達度合いによって成熟度別に以下の様に分類した (MAKAROV and DENYS 1980より改変) :

雄の成熟度

- M 1 (未成熟) : 交接器 (petasma) 未発達
- M 2 (未成熟) : 交接器 (petasma) はやや発達し2葉となる
- M 3-4 (未成熟) : 交接器 (petasma) はほぼ完全に発達、翼 (wing) も発達する。
- M 5 (成熟) : 交接器 (petasma) 完全に発達し圧迫すると射出孔 (ampullae) より精包の漏出が認められる

雌の成熟度

- F 2 (未成熟) : 受精囊 (thelycum) 未発達
- F 3 (未成熟) : 受精囊 (thelycum) 完全に発達
- F 4 (未成熟) : 精包の付着が受精囊に認められる
- F 5 (成熟) : 精包の付着が受精囊に認められる。卵巣が頭胸甲下に認められる
- F 6 (成熟) : 精包の付着が受精囊に認められる。卵巣がよく発達し、そのため頭胸甲が膨らんでいる。
- F 7 (成熟) : 精包の付着が受精囊に認められる。放卵により膨らんだ頭胸甲が空洞化。

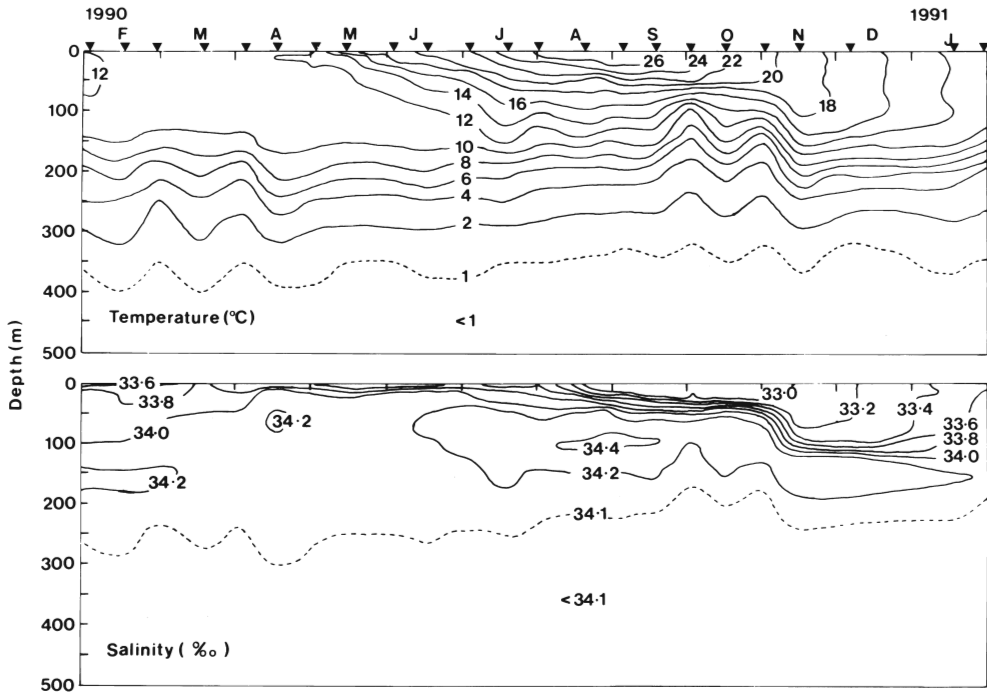


Fig. 2. Seasonal variations in temperature (upper) and salinity (lower) at the station in Toyama Bay. Sampling dates are indicated by solid triangles on upper abscissa (HIRAKAWA *et al* 1992).

結 果

1 採集定点の水溫・塩分環境

採集定点における500m以浅の水溫・塩分の鉛直分布を Fig. 2 に示す。2月から4月中旬にかけて150m以浅に鉛直混合の結果と思われる10℃から12℃間の厚い等温層が広がっていた。7月から11月上旬では表層は20℃以上の水溫となり、表面水溫の最高は8月の27.9℃、最低は3月の10.5℃であった。また350m以深は周年1.0℃以下の日本海固有冷水 (NISHIMURA 1969) で占められていた。塩分(‰)は年間を通して250m以深では34.05-34.10で一定であった。33.0以下の低塩分は8月から11月の表層付近に見られた。34.4以上の高塩分は8月、9月に水深100m付近で見出され、またこれを取り巻く34.2以上の海水は高塩分で特徴づけられる対馬暖流の影響と考えられる (NISHIMURA 1969)。

2 出現量, 成長段階別組成

出現したオキアミは *Euphausia pacifica* と *Thysanoessa longipes* の2種のみであったが、出現個体数は *E. pacifica* が圧倒的に多く (採集総個体数 21,217個体)、*T. longipes* は時折見られる程度であった (採集総個体数44個体)。

E. pacifica の1m³当たりの個体数と湿重量を Fig. 3 に示す。*E. pacifica* の個体数は2月上旬に最低(0.2個体/m³)となり、2月下旬から急速に増加していき、4月上旬に最高(75.0個体/m³)に達した。その後、個体数は減少していった(年平均11.0個体/m³)。湿重量は2月上旬に最低(2.0mg/m³)となり、その後徐々に増加していき8月中旬に最高(105.8mg/m³)となっ

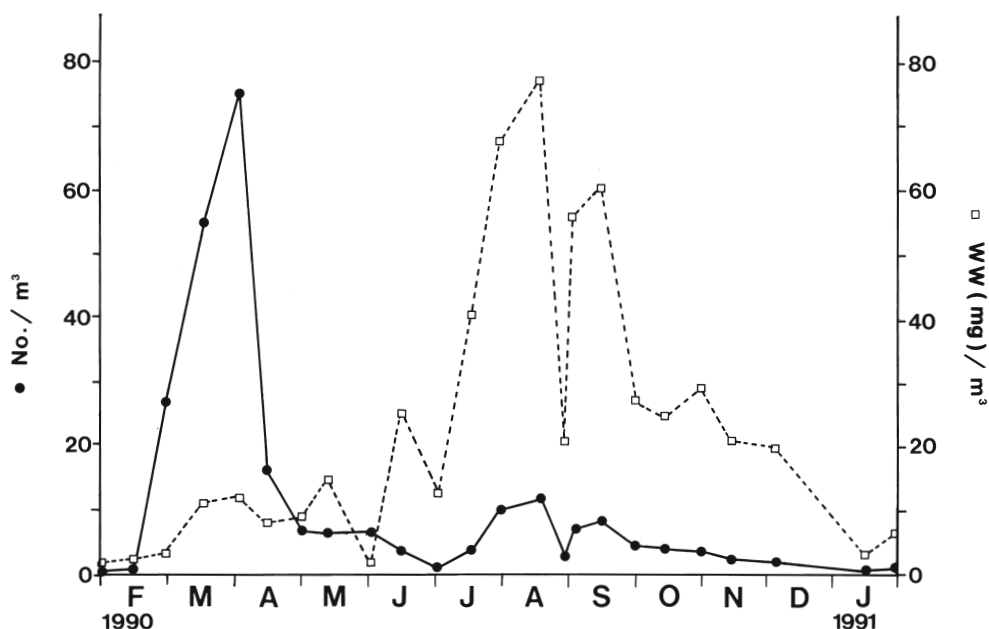


Fig. 3. Seasonal variations in numerical abundance (number/m³) and in biomass (mg wet weight/m³) of *Euphausia pacifica* in Toyama Bay.

た (年平均25.0mg/m³).

E. pacifica の卵, 幼生期 (ノープリウス I-II, メタノープリウス, カリプトピス I-III, フルシリア I-VII), 後幼生期 (幼体, 成体雄・雌) の 1 年間にわたる出現状況を Table 1 に示す. 卵は 2 月中旬から 5 月中旬にかけて大量に出現し, ピークは 3 月中旬で 48 個/m³ であった. 7 月から 1 月にかけて卵はほとんど採集されなかった. 幼生期は 2 月下旬から 6 月中旬にかけて主に出現したが, 8 月から 12 月まではまったく出現しなかった. 後幼生期は周年出現した.

3 成熟度組成

成熟度別の成体雄・雌の出現状況を Table 2 に示す. 未成熟雄 (M1-2) は 5 月からみられ, 成熟途上の雄 (M3-4) は 7 月中旬から翌年の 1 月末まで連続して出現した. 成熟雄 (M5) は 4-5 月, 9-10 月以外は小数ながら周年出現した. 未成熟雌は (F2) は 6 月から連続してみられたが, 精包 (spermatophore) を受精嚢に付着させた交尾雌 (F4), 交尾雌で卵巣が発達したもの (F5), 後部雌で卵巣がさらに発達して頭胸甲が膨れたもの (F6) は 2-6 月にのみ小数出現した. 放卵直後と思われる雌 (F7) は 2 月に 2 個体, 5 月と 7 月にそれぞれ 1 個体出現した.

Table 1 の結果から雄の年間総出現個体数は 1919, 雌のそれは 1280 で雄が雌よりも多く出現しており雄:雌比は 1:0.67 であった. また Table 2 に示した雄・雌の成熟度別出現状況から本種は雄性先熟と判断される.

雄雌の成熟度と体長は大体比例関係にあった. すなわち雄では M1 の個体の体長は 7-12mm, M2 は 9-13mm, M3-4 は 9-21mm, M5 は 11-21mm であり, 雌では F1 の体長は 9-15mm, F2 は 10-23mm, F3 は 10-23mm, F4 は 13-21mm, F5 は 12-21mm, F6 は 12-17mm, F7 は 15-22mm であった. 最小成熟雄 (M5) と成熟雌 (F5-7) の体長は従って 11mm, 12mm という事になる.

Table 1. Seasonal changes in numerical abundance (per haul) of developmental stages of *Euphausia pacifica* in Toyama Bay.
 N=Nauplius, MN=Metanauplius, C=Calyptopis, F=Furcilia.

Year	Date	Volume of water filtered (m ³)	Egg	Larva										Juvenile	Male	Female	Total		
				N1	N2	MN	C1	C2	C3	F1	F2	F3	F4-5					F6	F7
1990	Feb. 1	82.9				2							2			1	4	5	14
	Feb. 14	88.1	1816		3	2	1	2	1	54	2	1	1			2	12	7	1904
	Feb. 28	77.4	2026	41	198	1466	321	128	11	152							2	9	4354
	Mar. 17	81.9	3924			716	2524	786	274	68	268	58	2	2			6	7	8635
	Apr. 3	69.9	1020	12	224	2660	972	652	372	36	128	20	24	4		20	2	1	6147
	Apr. 16	75.5	844			120	148	100	136	140	4	172	60	32		64			1820
	May 1	81.7	636	4		44	116	12	52	28		36	24	32	68	60	20	1	1133
	May 14	79.4	276			8	96	32	12	12	16	12	16	44	48	192	11	4	779
	June 3	83.4	8				168	104	136	104	4					24	6	1	555
	June 15	78.4	4		4	32	24	12	44			20	12	4		100	36	24	316
	July 2	79.0				12			4			4			4	64	24	19	131
	July 17	86.0										8		8		120	109	105	350
	Aug. 1	79.8												4		384	236	193	817
	Aug. 20	79.6														500	249	189	938
	Aug. 30	81.7														140	71	65	276
	Sept. 3	88.1														312	224	137	673
	Sept. 17	80.0														300	280	119	699
	Oct. 2	75.3														160	112	71	343
	Oct. 15	78.2														170	112	54	336
	Nov. 1	80.2														68	158	92	318
	Nov. 15	80.0	4													64	94	65	227
	Dec. 5	84.8														32	101	84	217
1991	Jan. 16	82.6											2			2	18	14	36
	Jan. 30	80.1												2		4	32	14	52

Table 2. Seasonal changes in numerical abundance (per haul) of maturity stages of male (M1-5) and female *Euphausia pacifica* (F2-7) in Toyama Bay (according to the system proposed by MAKAROV and DENYS 1980).

Year	Date	Volume of water filtered (m ³)	Male				Female					
			M1	M2	M3-4	M5	F2	F3	F4	F5	F6	F7
1990	Feb. 1	82.9	2			2	3	2				
	Feb. 14	88.1			2	10	1	4	2			
	Feb. 28	77.4			1	1			1	3	3	2
	Mar. 17	81.9				6		4	1		2	
	Apr. 3	69.9			1	1					1	
	Apr. 16	75.5										
	May 1	81.7	20					1				
	May 14	79.4	8			3			1	2		1
	June 3	83.4	4	2			1					
	June 15	78.4	28		1	7	12	11	1			
	July 2	79.0	20	4			16	2				1
	July 17	86.0	28	36	33	12	84	21				
	Aug. 1	79.8	160	52	17	7	180	13				
	Aug. 20	79.6	112	104	27	6	172	17				
	Aug. 30	81.7	20	40	11		60	5				
	Sept. 3	88.1	112	80	32		120	17				
	Sept. 17	80.0	120	92	68		112	7				
	Oct. 2	75.3	48	38	26		66	5				
	Oct. 15	78.2	46	50	15	1	50	4				
	Nov. 1	80.2	72	48	38		84	8				
Nov. 15	80.0	12	32	48	2	52	13					
Dec. 5	84.8	20	40	33	8	96	8					
1991	Jan. 16	82.6			8	10	6	8				
	Jan. 30	80.1		2	22	8	6	6				

4 昼夜鉛直分布

MTD ネットで採集された後幼生期の昼夜深度分布を Fig. 4 に示す。6月、9月、12月とも昼間の最大分布層は250-300m と変わらなかったが、夜間は6月で20m、9月で100m、12月で表面と大きく変化した。これら夜間の最大分布層の水温を見ると15-16℃ とほぼ一定である事から、*E. pacifica* の日周鉛直移動の上限深度は水温によって制限されている事がわかる。

5 体長組成・成長速度

体長組成の季節的变化を Fig. 5 に示す。Table 1 の結果と対比する事により、1990年の同時発生集団 (cohort) には2-3月に発生した集団とその後に発生した集団の2つがある事がわかる (後者の同時発生集団は4-7月の結果で前者と識別される)。しかしこの2つの同時発生集団は8月以降の体長モードでは混合して見かけ上1つの同時発生集団となっている。2-3月の同時発生集団は4-6月間に急速に成長するが、後続の同時発生集団と混合した8月からは成長が止まり1991年1月まで殆ど成長していない、1990年の2月にみられた体長11-12mmにモードを持つ同時発生集団は2-6月にかけて体長20mmまで成長するが、それ以後は徐々に体長を減じる

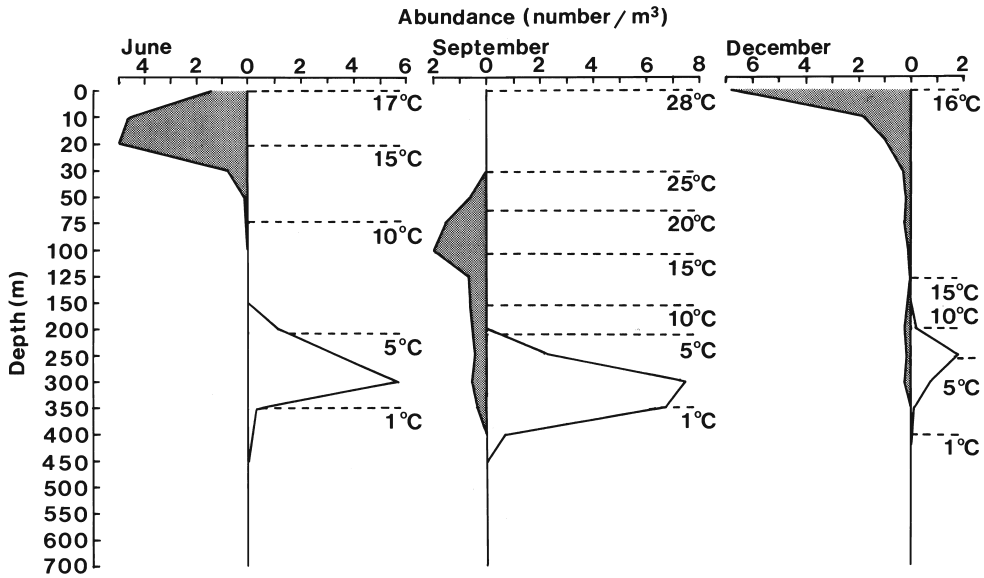


Fig. 4. Day (open)-night (shaded) changes in vertical distribution pattern of *Euphausia pacifica* postlarvae at station in Toyama Bay. Daytime sampling and nighttime sampling were 0736h-1030h and 2025h-2159h in June, 1226h-1511h and 1938h-2208h in September, 0640h-0910h and 1844h-2100h in December 1986. Water temperature is superimposed by horizontal dashed line. Note that depth scale is not even.

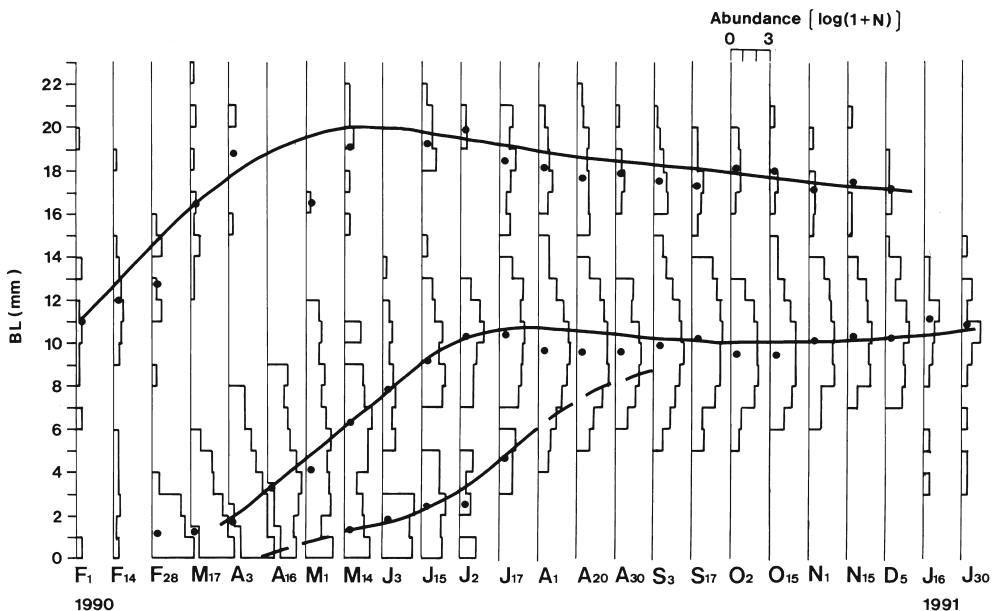


Fig. 5. Seasonal changes in size (=BL) frequencies of *Euphausia pacifica* in Toyama Bay. Three cohorts, one originated in 1989 and the other two in 1990, were identified, and the growth of each cohort was traced from the sequence of its mean sizes (solid chrcle). Growth curves are eye-fitted, and those of clear and unclear sequences are indicated by solid and broken lines, respectively.

傾向がみられた。この1990年2月に出現した体長11-12mmの同時発生集団は1991年1月における前年2-3月の同時発生集団の体長と一致する事から、1989年の2-3月の同時発生集団に由来すると考えられる。このように考えると、*E. pacifica*の寿命は最長21カ月程度となる。

1990年の2-3月に発生した同時発生集団について4月7日から6月15日までの平均体長と採集期間を最小2乗法で直線にあてはめ、直線の傾きから成長速度を計算したところ、日間成長速度は0.102mmとなった(月間成長速度で3.1mm)。1989年に発生したと考えられる大型の個体群の2月1日から5月1日まで平均体長と採集期間について同様な計算をしたところ日間成長速度は0.076mmとなった(月間成長速度で2.3mm)。

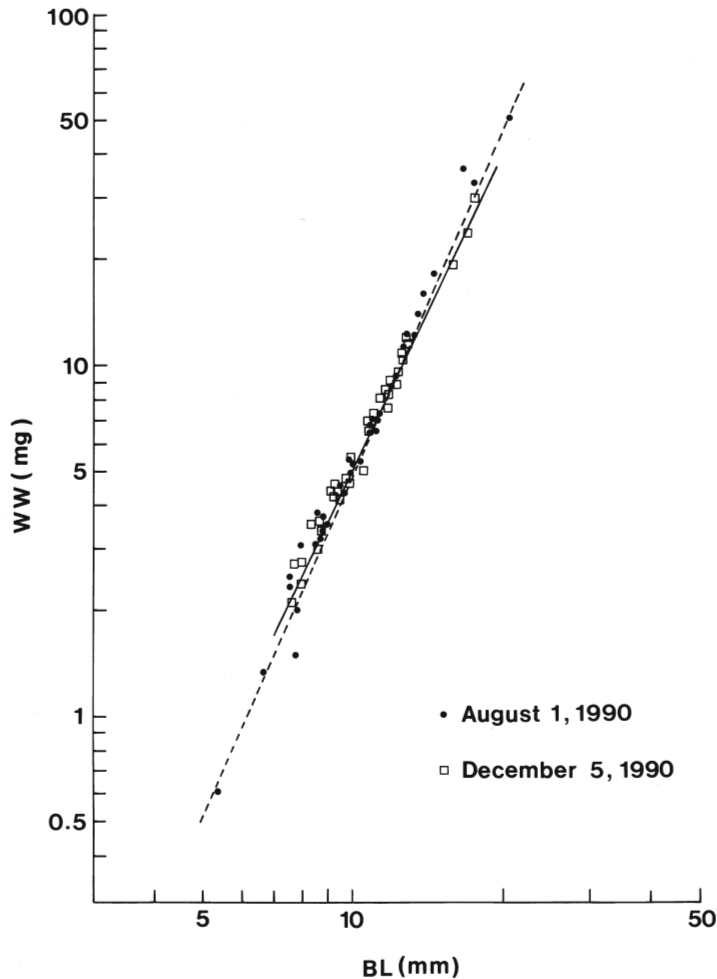


Fig. 6. Relationship between wet weight (WW, mg) and body length (BL, mm) of *Euphausia pacifica* collected on August 1 and December 5, 1990 in Toyama Bay. The regression equations are $\log_{10} WW = 3.31 \log_{10} BL - 2.58$ ($r = 0.985$, $N = 36$, $P < 0.01$) for August data (solid line), and $\log_{10} WW = 3.02 \log_{10} BL - 2.27$ ($r = 0.982$, $N = 36$, $P < 0.01$) for December data (dashed line). The differences between these two lines are insignificant (covariance test, $P < 0.05$).

6 体長一体重関係

両対数グラフ上にプロットした8月1日と12月5日の *E. pacifica* 後幼生期の体長一体重関係とそれぞれの資料について計算された回帰直線を Fig. 6に示す。体重は体長の増加に伴い増加するが、共分散分析の結果これらの2つの回帰直線の傾きに有意差はみられず ($F=8.13$, $df=1, 68$, $P>0.05$), またその切片にも有意差は認められなかった ($F=1.44$, $df=1, 69$, $P>0.10$).

考 察

1 定量採集における問題点

オキアミ類は遊泳力が大きく、視覚が発達しているため、その定量的採集には“網口逃避”行動に留意する必要がある (BRINTON 1967). KAMPA and BODEN (1954) は *E. pacifica* の遊泳速度を日周鉛直移動の連続記録より毎時60-270m (=毎秒0.02-0.08m) と報告している。またオキアミが海中で接近する異物・補食生物等に反応して、尾部を激しく屈曲させて逃避する“tail swimming”は近縁種の *Euphausia superba* で毎秒0.4m程度 (体長20mm相当) である (KILS 1979). これらの遊泳速度は本研究で用いたノルバックネット (毎秒1m), MTD ネットの曳網速度 (毎秒0.5-0.8m) よりも小さく、網口逃避による誤差は大きくないと考えられる。下述のアイザック・キッド中層トロールネットを用いた小牧 (1975) と本研究の結果の比較もこの結論を支持する。

2 日本海南部海域における *E. pacifica* の生活史

小牧 (1975) は佐渡沖定点において6フィートアイザック・キッド中層トロールネット (網目幅3mm) を用いた定期連続採集 (月1回) を行い、*E. pacifica* 個体群の体長組成変化を約1年間に渡り追跡した。この小牧 (1975) の報告は南部日本海における *E. pacifica* の成長についての最初のものであるが、それによると後幼生期の体長モードは4月から11月頃まで殆ど変化しておらず、この期間 *E. pacifica* は成長していないことを示している。この夏-冬期間における *E. pacifica* の成長停滞は富山湾の個体群でも確認された (Fig. 5)。しかし小牧 (1975) が採集に使用したネットは目合が粗かったため、卵や幼生は採集されず、よって産卵期や体長5mm以下の幼生の成長は不明のまま残され、これらは本研究により初めて明らかにされた。

富山湾において *E. pacifica* の成長が夏-冬期に停滞する原因として、本種が基本的に植物プランクトン食であるため、正常な成長には、夜間の浮上層が有光層内である必要性が考えられる。MTD ネットによる昼夜鉛直分布の結果から、9月では表層の高水温のため、夜間の浮上が50m以深に抑制されていることがわかる (Fig. 4)。その結果本種の摂餌が大きく制限され、成長できなかつたと推測される。Fig. 4の結果から *E. pacifica* の生息温度の上限は20℃付近と思われるが、これは室内飼育実験で段階的に設定した水温下で行った本種の脱皮間隔の観察、酸素消費量の測定結果と一致する。すなわち、脱皮間隔は水温上昇とともに短くなるが、20℃を越えると脱皮は行われなくなる。また酸素消費量も水温上昇とともに増加するが、20℃を越えると増加が止まる (井口)*。12月では水温による有光層への移動抑制はなく、夜間浮上層は表面まで達しているが、この時期は富山湾では動植物プランクトンともにその現存量は年間最低である (HIRAKAWA *et al* 1992)。また、*E. pacifica* は植物プランクトンだけでなく、動物プランクトンも摂餌出来るが、動物プランクトンだけを与えた実験では本種が十分に成長できないことが既に示されている (OHMAN 1984)。

* 未発表資料

この様に *E. pacifica* の成長は餌料の質・量によって大きく影響されるが、Fig. 6に示した体長-体重関係は成長停滞期の開始期と後半期とで差が見られない。この結果は不適な餌料環境下にある魚類等で一般的に見られる体重の減少（いわゆる肥満度の低下、NIKOLSKY 1963 参照）は *E. pacifica* では見られない事を示す。

Fig. 5 において、1989年に生まれたと推定された同時発生集団の体長モードが7月以降減少している事について、これは各個体の体長が縮小したのではなく、より大型の個体が漸次死亡（自然死亡と補食による死亡）した結果と考えた方が良いだろう。この様な見かけ上の体長縮小は、ノルウェーのフィヨルドに分布する *Thysanoessa inermis*, *Thysanoessa raschii*, *Meganyctiphanes norvegica* 等、他のオキアミでも報告されている（FALK-PETERSEN and HOPKINS 1981）。

以上の結果から富山湾における *E. pacifica* の生活史をまとめてみると以下のようになる。1990年の富山湾においては2月中旬から3月中旬に植物プランクトンの春季ブルームがみられた（HIRAKAWA *et al* 1992）。1991年の1月下旬の体長組成を持つ個体群が1989年の同時期に存在し、1990年2月上旬の個体群に連続すると仮定すると、この植物プランクトンの春季ブルーム期に *E. pacifica* の個体群は急速に成長・成熟し産卵を開始したことになる。その後、幼生は好適な餌料環境下で成長し幼体・成体となる。表層の水温が上昇する夏期には、夜間の表層への移動が抑制され、摂餌が制限されることによって成長は停滞する。11月頃になると水温の下降によって表層への移動は再び可能となるが、この時期は動植物プランクトンとも冬枯れの時期にあり、雌の成熟・産卵には翌年の植物プランクトンの春期ブルームを待たなければならない。よって、富山湾における本種の卵から卵までの1世代時間はおよそ1年間である。飼育実験から *E. pacifica* 雌が1回の産卵で放出する卵数は50-150個である事が確認されている（井口）*。本種の産卵期は2カ月におよびその間20回ほど産卵すると考えられているが（ROSS *et al* 1982）、この多回産卵は富山湾の *E. pacifica* で確認されていない。本研究で観察された最大の個体は雄で21mm、雌で23mmであり、Fig. 5の成長曲線から、富山湾における本種の寿命は最長21カ月程度と見積もられる。

3 他海域における *E. pacifica* の生活史との比較

E. pacifica の日周鉛直移動について、カリフォルニア沖では夜間は表層、昼間は200-400m水深に移動する事が報告されているが（BRINTON 1976）、これは本研究の結果（夜間：0-100m、昼間：250-300m）と大体一致する。雄雌何れの最小成熟体長も南カリフォルニア沖で約11mmであるので（BRINTON 1976）、本研究で富山湾の *E. pacifica* について得られた結果（11-21mm）

Table 3. Regional variations in breeding season and life span of *Euphausia pacifica* in the North Pacific.

Habitat	Breeding season	Life span	Reference
Okhotsk Sea	June	2 years	PONOMAREVA (1963)
Off Kamchatka /South of Aleutians	spring- early summer	2 years	NEMOTO (1957)
Off Oregon	September	1 year	SMILES and PEARCY (1971)
Off southern California	all season	8-12 months	BRINTON (1976)
Off Sanriku, north eastern Honshu	May-August	~15 months	ODATE (1991)
Toyama Bay	February-May	~21 months	This study

* 未発表資料

と殆ど一致する。*E. pacifica*の産卵期について、地理的に富山湾に最も近い三陸沖での本種の産卵時期は5-8月(小達 1991)、オホーツク海では6月(PONOMAREVA 1963)であり、何れも富山湾より遅れている。オレゴン沖での*E. pacifica*の産卵は9月にみられ、南カリフォルニア沖では周年産卵がみられる(Table 3)。また、産卵期の長さも、富山湾のように4か月から南カリフォルニア沖のように周年にわたるものまで変化する。BRINTON (1976)は*E. pacifica*の産卵に必要な環境条件として9-16°Cの水温と豊富な餌料の存在をあげている。富山湾では成熟雌の出現が季節的に限られているのに比べ、成熟雄は断続的ではあるが周年出現している事から(Table 2)、雄の成熟における水温・餌料への依存度は雌のそれよりも比較的小さいと思われる。

成長に関して、富山湾の*E. pacifica*で夏-冬期にかけて長い停滞期がみれたが、この成長停滞は富山湾で観察されたものよりも短いオレゴン沖や南カリフォルニア沖に分布する本種でも見いだされている(SMILES and PEARCY 1971, BRINTON 1976)。南カリフォルニア沖でみられる成長停滞期の原因は、季節的な湧昇流の強弱による栄養塩供給の変動とそれに起因する餌料植物プランクトンの生産力の変化が考えられている(BRINTON 1976)。好適な餌料環境下での*E. pacifica*の成長は1か月当たり3mm程度とオレゴン沖・南カリフォルニア沖では見積もられている。富山湾で3-6月に見られた1990年の同時発生集団の最大成長速度は1か月当たり3.1mmで、南カリフォルニア沖の個体群と殆ど同じである。南カリフォルニア沖は湧昇海域であり植物プランクトンの生産力が富山湾より大きい事が知られている。ちなみにクロロフィル*a*で見た植物プランクトン現存量は南カリフォルニア沖では $3\mu\text{g}/\ell$ もの高濃度が4-9月にわたり保持されているが(BRINTON 1976)、富山湾湾央では年間を通して $1\mu\text{g}/\ell$ を越える濃度は殆ど出現しない(永原 1984)。*Euphausia superba*の飼育実験で、成長速度は餌料濃度に比例して増加するが、ある一定の餌料濃度以上では最速成長はもはや増加せず一定となる。この成長が一定になる餌料閾値濃度は*E. superba*の場合、炭素量で $1\text{mg}/\ell$ (クロロフィル*a*換算で $30\mu\text{g}/\ell$)と非常に高い(IKEDA and THOMAS 1987)。上述の富山湾と南カリフォルニア沖での*E. pacifica*の成長速度に差が見られなかったのは、*E. pacifica*の成長における餌料閾値濃度が極端に低いか、または富山湾での植物プランクトンの生産量は南カリフォルニア沖に匹敵するが*E. pacifica*により効率よく利用されるため現存量は低くなっているのか、何れにしても今後究明を要する問題である。

富山湾での*E. pacifica*寿命は最長21か月と見積もられた。これは南カリフォルニア沖やオレゴン沖の結果(8-12か月)よりも長い、オホーツク海やカムチャッカ沖・南アリューシャン海域の結果(2年)よりも短い(Table 3)。オホーツク海やカムチャッカ沖では冬期の水温が0-1°Cと低く、そのため本種の成長が遅れるためと思われる。低温下で*E. pacifica*の脱皮間隔が長くなり、従って成長が遅くなる事は飼育実験でも確かめられている(SAMEOTO 1976; 井口)*。南カリフォルニア沖での*E. pacifica*の年間平均現存量は $14-20\text{mg}/\text{m}^3$ と報告されているが(BRINTON 1976)、これは本研究で明らかになった富山湾での年間平均現存量 $25\text{mg}/\text{m}^3$ よりも小さい。しかし、前述の様に南カリフォルニア沖の個体群は周年産卵し、成長停滞期も短い事から現存量に対する生産量の比は富山湾よりも大である事が示唆される。

文 献

荒木正邦(1971)日本海および駿河湾におけるオキアミ類の分布生態。東京大学修士論文。1-66。

* 未発表資料

- BODEN, B. P. (1950) The post-naupliar stage of the crustacean *Euphausia pacifica*. *Trans. Amer. microsc. Soc.*, **69**, 373-386.
- BRINTON, E. (1962) The distribution of Pacific euphausiids. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr.*, **8**, 51-270.
- BRINTON, E. (1967) Vertical migration and avoidance capability of euphausiids in the California Current. *Limnol. Oceanogr.*, **12**, 451-483.
- BRINTON, E. (1976) Population biology of *Euphausia pacifica* off southern California, *Fish. Bull. US*, **74**, 733-762.
- ENDO, Y. and KOMAKI, Y. (1979) Larval stage of euphausiids with descriptions of those of *Thysanoessa longipes* Brandt. *Bull. Japan Sea Res. Lab.*, (30), 97-110.
- FALK-PETERSEN, S. and HOPKINS, C. C. E. (1981) Ecological investigations on the zooplankton community of Balsfjorden, northern Norway: population dynamics of the euphausiids *Thysanoessa inermis*, *Thysanoessa raschii* and *Meganyctiphanes norvegica* in 1976 and 1977. *J. Plankt. Res.*, **3**, 177-192.
- HIRAKAWA, K., IMAMURA, A., and IKEDA, T. (1992) Seasonal variability in abundance and composition of zooplankton in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Bull. Japan Sea Natl. Fish. Res. Inst.*, (42), 1-15.
- 池田勉・広田祐一・野口昌之 (1987) 海洋深層資源の有効利用技術の開発に関する研究深層水の立地条件に基づく有効利用技術に関する研究 (日本海側海域). 昭和61年度研究成果, 19-23.
- IKEDA, T. and THOMAS P. G. (1987) Moulting interval and growth of juvenile Antarctic krill (*Euphausia superba*) fed different concentrations of the diatom *Phaeodactylum tricornutum* in the laboratory. *Polar Biol.*, **7**, 339-343.
- KAMPA, E. M. and BODEN, B. P. (1954) Submarine illumination and the twilight movements of sonic scattering layer. *Nature, Lond.*, **174**, 869-870.
- KILS, U. (1979) Performance of Antarctic krill *Euphausia superba*, at different levels of oxygen saturation. Results of the 2 German Antarctic Expedition 1977/78. *Meeresforsch.*, **27**, 35-48.
- KOMAKI, Y. (1967) On the surface swarming of euphausiid crustaceans. *Pacif. Sci.*, **21**, 453-448.
- 小牧勇蔵(1974)オキアミ, 特に日本近海におけるツノナシオキアミについて. 水産資源開発センター, **5**, 2-5.
- 小牧勇蔵 (1975) 第13回漁業資源研究会議環境部会生産力分科会会議事要録. 18-19.
- 小牧勇蔵・松江吉行(1958)オキアミ類の出現種並びに重要種の生態. 対馬暖流開発調査報告書, (2), 146-162.
- MAKAROV, R. R. and DENYS, C. J. (1980) Stage of sexual maturity of *Euphausia superba*. *BIOMASS Handbook* Number 8, 1-10.
- MAUCLINE, J. and FISHER, L. R. (1969) The biology of euphausiids. *Adv. mar. Biol.*, **7**, Academic Press, London and New York, 1-454.
- MOTODA, S. (1971) Devices of simple plankton apparatus. V. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **22**, 101-106.
- 永原正信 (1984) 富山湾の栄養塩類とクロロフィル-*a*の季節変動. 北陸沿岸地域調査成果報告, 日水研, 183-204.
- NIKOLSKY, G. V. (1963) *The ecology of fishes*. (Translated by L. Birkett 1963), Academic Press, London and New York, 1-352
- NISHIMURA, S. (1969) The zoogeographical aspects of the Japan Sea Part V. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, **17**, 67-142.
- OHMAN, M. D. (1984) Omnivory by *Euphausia pacifica*: the role of copepod prey. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **19**, 125-131.
- 沖山宗雄 (1965) 日本海沖合いにおけるスルメイカ *Todarodes pacificus* の食性. 日水研報告, (14), 31-41.
- 小達和子 (1991) 三陸・常盤沿岸のツノナシオキアミとその漁業. 水産研究叢書, **40**, 1-97.
- PONOMAREVA, L. A. (1963) The Euphausiids of the North Pacific, their distribution and ecology. (Translated by Israel Programme for Scientific Translations, 1966). IPST, Jerusalem, 1-142.
- ROSS, R. M., DALY, K. L. and ENGLISH, T. S. (1982) Reproductive cycle and fecundity of *Euphausia pacifica* in Puget Sound, Washington. *Limnol. Oceanogr.*, **27**, 304-314.
- SAMEOTO, D. D. (1976) Respiration rates, energy budgets, and molting frequencies of three species of euphausiids found in the Gulf of St. Lawrence. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **33**, 2568-2576.
- SMILES, M. C. and PEACY, W. G. (1971) Size structure and growth rate of *Euphausia pacifica* off the Oregon coast. *Fish Bull. US*, **69**, 79-86.
- 竹内勇 (1972) 北部北太平洋および隣接水域におけるサケ属魚類の餌料生物の分布とそれらの胃内容物に関する研究. 北水研報告, (38), 1-119.