

# 親潮水域および混合水域における動物プランクトン現存量把握のためのプランクトンカウンターの有効性

誌名	中央水産研究所研究報告
ISSN	09158014
著者	市川, 忠史 加藤, 聡 中田, 薫
巻/号	13号
掲載ページ	p. 1-14
発行年月	1999年3月

## 親潮水域および混合水域における動物プランクトン現存量 把握のためのプランクトンカウンターの有効性

市川忠史\*<sup>1</sup>, 加藤 聡\*<sup>2</sup>, 中田 薫\*<sup>1</sup>

### Usefulness of Plankton Counters for the Automatic Measurement of Zooplankton Biomass in the Oyashio and the Transition Zone

Tadafumi Ichikawa\*<sup>1</sup>, Satoshi Kato\*<sup>2</sup> and Kaoru Nakata\*<sup>1</sup>

**Abstract:** To assess the utility of two types of plankton counter (Electronic Plankton Counting and sizing System, EPCS and Submergible Biological Environment Monitoring System, SBEMS) for the measurement of zooplankton biomass, zooplankton abundance and biomass density, the plankton counters were compared with manual counts methods under a microscope for samples from May and August 1997 in the Oyashio and the Transition zone off the Sanriku coast which is a feeding ground for pelagic fishes. The EPCS was equipped with both Electronic Plankton Counter (EPC) and Optical Plankton Counter (OPC) while the SBEMS was equipped with an EPC and used to clarify the horizontal and vertical distributions of zooplankton. The mean values of the surface zooplankton biomass measured with the EPC and OPC in May 1997 were 244 ( $\sigma=747$ , max=11510) and 147 ( $\sigma=300$ , max=3570) mg/m<sup>3</sup>, respectively, and in August 1997 were 7 ( $\sigma=10$ , max=50) and 17 ( $\sigma=23$ , max=130) mg/m<sup>3</sup>, respectively. Highest abundances of zooplankton were mostly found in the frontal regions. For both zooplankton abundance and biomass density, correlations between values measured with plankton counters and manually by microscope were statistically significant when particle densities were less than 10<sup>2</sup> particles/ℓ. The mean volume densities in both the Oyashio and the Transition zone measured with the plankton counters were comparable with reported values. Accordingly, zooplankton biomass in the Oyashio and the Transition zone can be monitored automatically using the instruments equipped with the plankton counter.

1998年9月21日受理 中央水産研究所業績A第79号

\*<sup>1</sup> 中央水産研究所 (National Research Institute of Fisheries Science, Fukuura, Kanazawa, Yokohama 236-8648, Japan)

\*<sup>2</sup> 海洋科学技術センター 〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2-15 (Japan Marine Science and Technology Center, Natsushima-cho, Yokosuka 273-0061, Japan)

資源・海洋研究では魚類資源の環境収容力を明らかにすること、地球規模の環境変動が環境収容力に与える影響を明らかにすることが重要な課題の一つである。海洋の表層生態系は比較的大型の植物プランクトンから動物プランクトン、魚類生産へ結びつく植食食物連鎖と、バクテリアを起点に微細藻類や微小動物プランクトンとの間で栄養塩供給と再生が行われている微生物環から構成される。この2つの系に配分されるエネルギー量は湧昇や成層の強さなどの物理条件によって変化し、その結果、魚類など高次栄養段階生物へのエネルギー添加量が増加することが指摘されている (Uitto *et al.*, 1997)。一方、魚類とその餌料の長さの比は平均14:1となり、餌の選択性に影響する要因として大きさが重要である (Sheldon *et al.*, 1977)。また、親潮水域、混合水域では *Neocalanus cristatus*, *N. plumchrus* などの大型動物プランクトンが多い年に動物プランクトン現存量が多く、動物プランクトン現存量の変動とサンマの漁獲変動の同調が指摘されている (小達, 1994)。従って、魚類資源の環境収容力を明らかにするためには、生態系構造とその変動の把握、ならびに動物プランクトン群集組成の広域的なデータの蓄積が必要である。従来の動物プランクトン現存量の測定や組成の把握は、主としてネット採集と顕微鏡を用いたプランクトン計測により行われてきたが、これらは多大な労力と時間を要するため、日本近海では一部の海域 (小達, 1994など) を除き動物プランクトン群集組成のデータ蓄積は進んでいない。

黒潮や暖水塊のフロント域では、Longhurst-Hardy Plankton Recorder (LHPR) とポンプ採水器を組み合わせた動物プランクトン連続観測によって、動植物プランクトンの濃密分布が観測され、黒潮による沿岸水や親潮水の引き込みによって、フロント域ではプランクトンの高い生産と現存量が維持されること (Yamamoto and Nishizawa, 1986) が明らかになっている。また、暖水塊や黒潮のフロント域における不安定現象である暖水ストリーマの先端にマイワシ漁場の形成されることが指摘されており (為石, 杉本, 1994)、数kmスケールの動物プランクトンの微細分布構造を把握することが魚類の漁場形成機構や仔稚魚の生残の研究のため必要である。このためには動物プランクトンの連続したデータの取得が望まれるが、ネット採集ではこうした連続データの取得は困難である。

動物プランクトン現存量を迅速かつ連続的に計測するため、様々な計測装置が開発されてきた (Herman and Mitchell, 1981; Mackas *et al.*, 1981; Herman, 1988; Davis *et al.*, 1992; Herman, 1992)。現在、一般に普及している計測装置は電気伝導度式 (Electronic Plankton Counter, 以下EPC) と光学式 (Optical Plankton Counter, 以下OPC) の動物プランクトンカウンターである。国外では種組成が単純な海域、あるいは主に北大西洋西部域において、動物プランクトン密度、現存量の把握にプランクトンカウンターの使用が有効であることが示されてきた (Herman and Dauphinee, 1980; Herman *et al.*, 1991; Herman *et al.*, 1993)。一方、国内では1980年代後半から調査船に設置型のEPCが導入された (川崎, 1989) が、大型カイアシ類 *Neocalanus cristatus* のパッチ状分布の研究例 (Tsuda *et al.*, 1993) 以外に、プランクトンカウンターを用いた研究例はない。この一因として、日本周辺海域では、プランクトンカウンターで得られたデータと顕微鏡下で計測した動物プランクトン現存量を比較するといった検定手法が確立されておらず、また、動物プランクトン現存量を把握するためにプランクトンカウンターの有効性の検討が行われてこなかったことが考えられる。

Boudreau and Dickie (1992) は横軸に対数表示で表した生物のサイズ区分を、縦軸に対数表示で表した生物の現存量をとり、その海域に分布する生物について一年間の平均値をプロットすると直線関係が得られ、そのy切片は新生産に関する栄養添加を表すこと、この関係を用いることで海域における生態系の構造や魚類の環境収容力を把握できる可能性を指摘した。プランクトンカウンターでは、粒子サイズとサイズ区分ごとの粒子量を自動的に計測できるため、動物プランクトン現存量や分布の把握以外に、魚類の環境収容力の把握や生態系の構造に関する研究に役立つものと期待される。

親潮水域および混合水域は多獲性浮魚類の重要な索餌海域であり、初夏から秋にかけて多くの魚類が来遊する。この海域の動物プランクトン現存量は5月に最大となり、夏から秋にかけて減少する(小達, 1994; 奥村ら, 1997)。そこで本研究では、親潮水域および混合水域において動物プランクトン現存量が最大となる5月と減少期にあたる8月に、メソ・マクロ動物プランクトン個体密度、現存量をプランクトンカウンターを搭載した連続観測装置を用いて把握可能か検討した。

## 試料と方法

**装置の概要** 動物プランクトンカウンターを搭載した装置として表層生物環境モニタリング装置 (Electronic Plankton Counting and sizing System, 以下EPCS, 日本海洋 (株) 製) と水中現場型生物環境モニタリング装置 (Submersible Biological Environment Monitoring System, 以下SBEMS, 日本海洋 (株) 製) の2つの装置を使用した。

EPCSには、EPC (日本海洋 (株), P-03) とOPC (Focal Technology Inc., OPC-1L) の2種のプランクトンカウンターならびに水温・塩分センサー (Sea-Bird Electronics Inc., SBE 21), 蛍光光度計 (Turner Design Model 10-AU-005) が搭載され (Fig. 1A), 調査船が巡航速度で航行中、水深約5mの船底からポンプで汲み上げた海水の水温、塩分、蛍光光度とサイズ別の粒子数ならび粒子体積の水平連続データを取得できる。装置の入口には、センサーの目詰まりを防ぐための金属製フィルター (目合い5mm) とプランクトンカウンター誤作動の原因となる気泡を除去するためのバブルトラップが装着されている。EPCは粒子体積0.1~2.52mm<sup>3</sup>の範囲内で任意の10のサイズ区分に、またOPCは球体換算直径0.25~5mmの範囲内で任意の32のサイズ区分にそれぞれ分別して、粒子数と粒子体積を1分間の積算値で記録する (Table 1)。

**Table 1.** Comparison of function of two types of plankton counter (EPC and OPC).

Instrument	EPCS		SBEMS
	EPC (P-03)	OPC (OPC-1L)	EPC (P-05)
Plankton counter			
Target size			
Volume (mm <sup>3</sup> )	0.1 ~ 2.52	0.08 ~ 65.4	0.16 ~ 8.2
ESD (mm)	0.56 ~ 1.7	0.25 ~ 5.0	0.68 ~ 2.5
Size categories	10	32	10
Record interval	1 min		5 sec

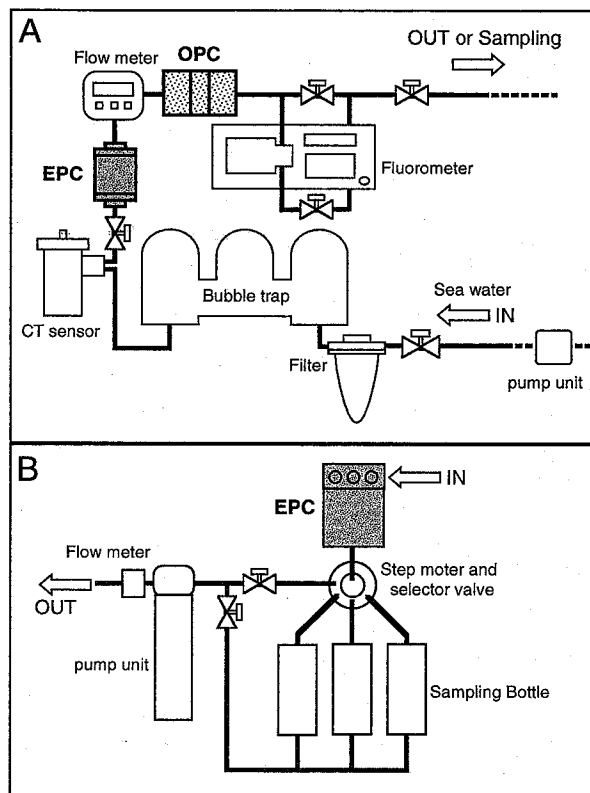


Fig. 1. Schematics of the deck components of the Electronic Plankton Counting and sizing System (EPCS; A), and the underwater components of the Submersible Biological Environment Monitoring System (SBEMS; B).

EPCS equipped with both an Electronic Plankton Counter (EPC) and an Optical Plankton Counter (OPC), and SBEMS equipped only with an EPC.

SBEMSはEPC (日本海洋 (株), P-05) とCTD (Sea-Bird Electronics Inc., SBE 9 plus) を搭載し, SBEMS本体はアーマードケーブルで船上のコンピュータと結ばれ, 垂下により水温・塩分とサイズ別の粒子数ならび粒子体積の鉛直連続データが取得できる。また任意の3層について装置内を通過した粒子を採集できる (Fig. 1B)。SBEMSのEPCは, EPCSのEPCとは測定可能範囲が異なり, 粒子体積  $0.16\sim 8.2\text{mm}^3$  範囲内で任意の10のサイズ区分に分別して, 粒子数と粒子体積を5秒間の積算値で記録する (Table 1)。

方法 蒼鷹丸に搭載されたEPCSを用いて, 三陸沖の2測線で1997年5月15日19:12~5月16日6:03 (Line A) および8月21日23:45~8月22日4:05 (Line B) で, 5m層における動物プランクトンの連続分布観測を行った (Fig. 2)。この間, 装置内を通過する海水の流量は装置の最大流量に近い  $11\text{ l/min}$  に設定した。装置内を通過した海水を通常5分間 (1分間の粒子密度が  $1\text{ particles/l}$  以下の場合には最大20分間), 目合  $0.1\text{mm}$  のネットで濾し, 3~5%となるようにホルマリンを加えて固定した。5月については12回, 8月については20回採集した試料について,

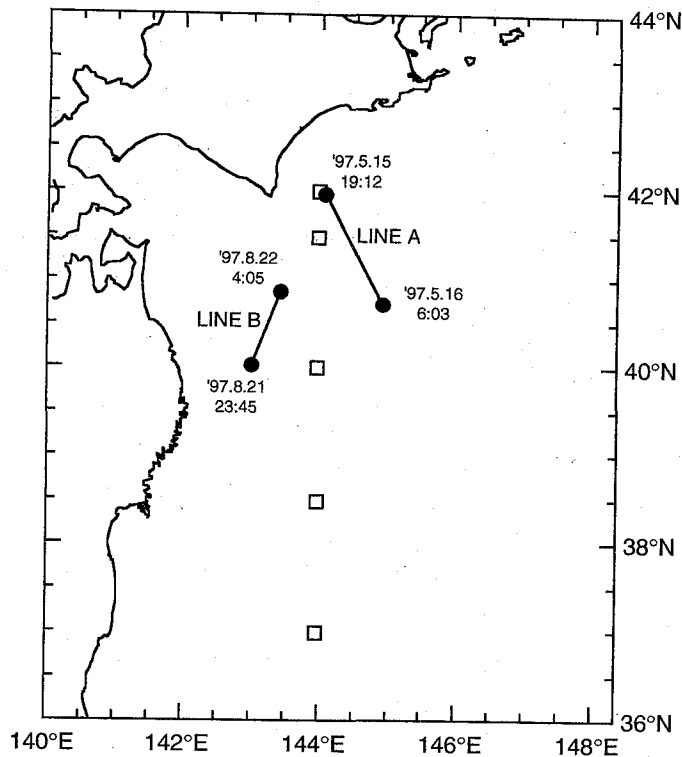


Fig. 2. Sampling locations off the Sanriku coast, the Pacific coast of north east Japan.

Two lines denote the sampling lines with EPCS, and open squares denote the sampling stations with SBEMS.

生物顕微鏡下で測定した動物プランクトン個体数密度と現存量密度をプランクトンカウンターで計測した値と比較した。動物プランクトン現存量は、接眼マイクロメーターを装着した生物顕微鏡下で、採集された個々の動物プランクトンの体長・体幅などの主要部位を計測し、その形状に応じて回転楕円体、球、円錐、円柱等の幾何学形に近似させ、個体ごとの体積を見積り、これらの体積を積算して求めた。破損個体が多かった夜光虫については、そのまま幾何学形に近似させて体積を見積もった場合と、破損個体の直径から元の球体を想定して復元体積を見積もった場合の2通りについて計算した。顕微鏡測定値とプランクトンカウンター計測値間、および2種のプランクトンカウンター間の比較はEPCの計測範囲内（粒子体積0.1～2.52mm<sup>3</sup>）の粒子を対象とした。

SBEMSを用いた鉛直分布の観測は1997年8月にFig. 2に示した5測点で行った。観測期間中、SBEMS内を通過する海水流量は、本体の内蔵バッテリー消費量を考慮し、観測中にバッテリー交換のない条件で最大流量となる18 l/minに設定した。各測点では任意の3層においてSBEMSの採集装置を用いて目合0.1mmのネットで5分間採集し、3～5%となるようにホルマリンを加えて固定した。この試料を用いて、EPCSと同様の手法で、顕微鏡による測定結果とプランクトンカウンター計測結果を比較した。

## 結 果

## 表層生物環境モニタリング装置 (EPCS) を用いた5月の動物プランクトン分布

Line AでEPCSに搭載されたEPCおよびOPCで計測された粒子密度の1分間の平均値は、それぞれ0~220 particles/ $\ell$  (平均:  $4.3 \pm 14.1$  particles/ $\ell$ ), 0~123 particles/ $\ell$  (平均:  $4.9 \pm 11.2$  particles/ $\ell$ ), 粒子体積密度の1分間の平均値はそれぞれ0~115  $\text{mm}^3/\ell$  (平均:  $2.4 \pm 7.5$   $\text{mm}^3/\ell$ ), 0~36  $\text{mm}^3/\ell$  (平均:  $1.5 \pm 3.0$   $\text{mm}^3/\ell$ ) であった。粒子密度の最高値は観測開始後55km付近 ( $41^\circ 30.8\text{N}$ ,  $144^\circ 20.5\text{E}$ 付近) に認められ、水温、塩分も観測開始後70km付近までは変動幅が大きかった (Fig. 3)。また130km付近でも平均値の5倍以上となる粒子密度のピークが認められた。

EPCSを通して採集された動物プランクトンで、体積がEPCの計測範囲内に含まれたのはすべてカイアシ類であった。EPCの計測範囲以下となったプランクトンは、カイアシ類ノープリウス、渦鞭毛藻類 (主に *Ceratium*), 大型珪藻類などであった。この時、顕微鏡で測定し

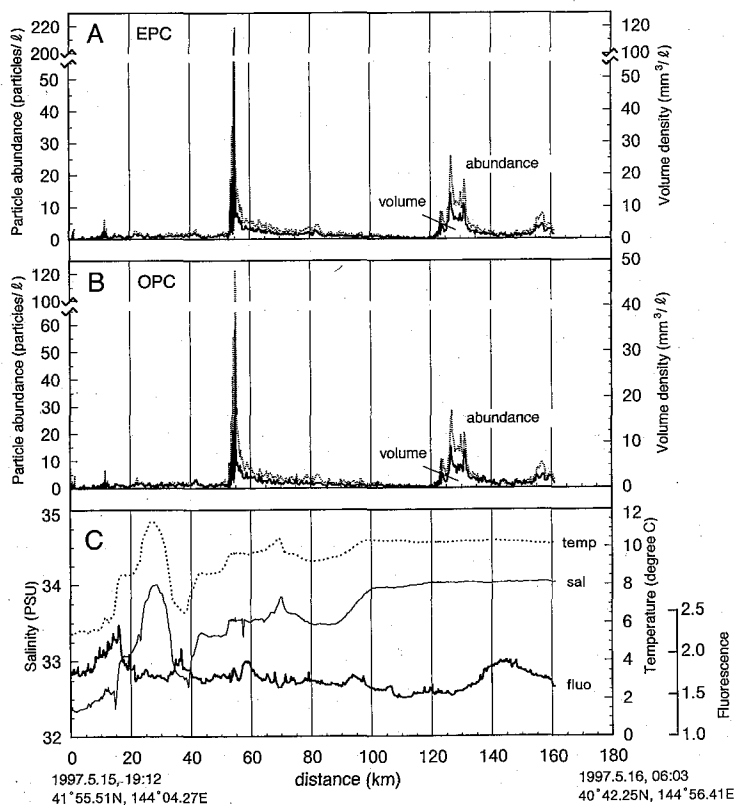


Fig. 3. Horizontal distributions of particle abundance and volume density measured by EPC (A), OPC (B) and environmental parameters (temperature, salinity, and fluorescence, C) from 19:12 h on 15 May 1997 to 06:03 h on 16 May 1997.

Particle abundance and biomass density measured with EPC and OPC

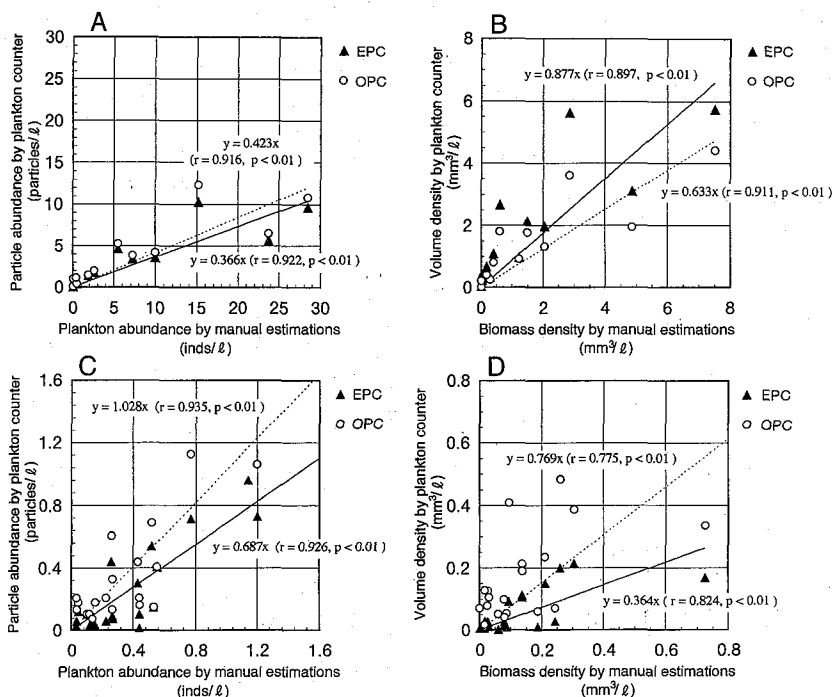


Fig. 4. Correlation between plankton counters (EPC and OPC) measured and manual estimations of zooplankton abundance (A, C) and correlations of zooplankton biomass density (B, D). Figs. A and B are for May 1997 and C and D for August 1997. All data are averaged over one minute. Solid triangles are EPC data and open circles are OPC data. Solid lines show the regression lines between measurements by EPC and those by microscope. Dotted lines show the regression lines between OPC measurements and those by microscope.

た動物プランクトン個体数密度は0~29 inds/ℓ (平均:  $7.9 \pm 9.7$  inds/ℓ,  $n=12$ ), 動物プランクトン現存量密度は0~8 mm<sup>3</sup>/ℓ (平均:  $1.8 \pm 2.3$  mm<sup>3</sup>/ℓ,  $n=12$ ) の範囲にあった。EPCで計測した粒子密度 (y) と顕微鏡で測定した動物プランクトン個体数密度 (x) との間には,

$$y = 0.366x \quad (r = 0.922, p < 0.01) \quad \cdots (1),$$

同じくOPC計測値 (y) と顕微鏡測定値 (x) との間には,

$$y = 0.423x \quad (r = 0.916, p < 0.01) \quad \cdots (2),$$

の有意な相関があった (Fig. 4A)。また, EPCで計測した粒子体積密度 (y) と顕微鏡で測定した動物プランクトン現存量密度 (x) との間には,

$$y = 0.877x \quad (r = 0.897, p < 0.01) \quad \cdots (3),$$

同じくOPC計測値 (y) と顕微鏡測定値 (x) との間には,

$$y = 0.633x \quad (r = 0.911, p < 0.01) \quad \cdots (4),$$

の有意な相関があった (Fig. 4B)。粒子密度, 粒子体積密度共に, 回帰直線の傾きは1より小



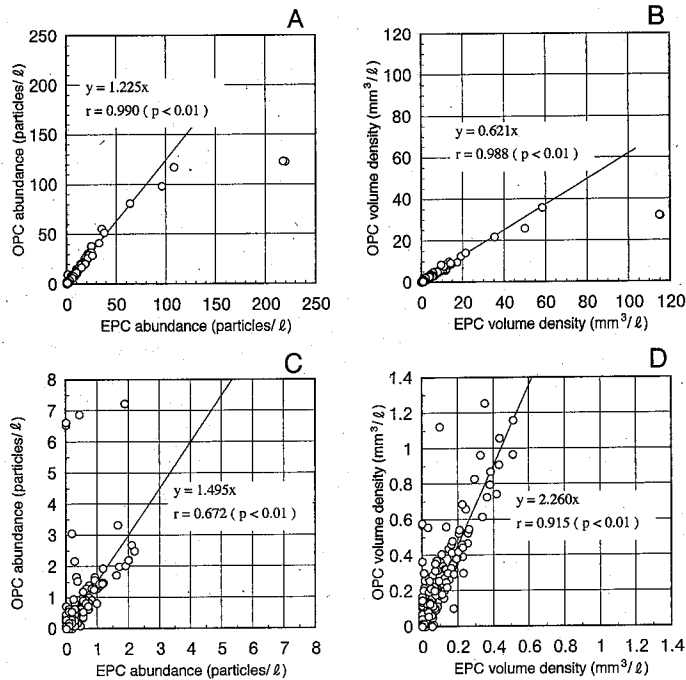


Fig. 5. Relationships between particle abundance measured by EPC and OPC (A, C), particle volume density measured by EPC and OPC (B, D) in May (A, B) and August 1997 (C, D).

All data are averaged over one minute. Solid lines show the regression lines between EPC measurements and those by OPC.

さく、顕微鏡測定値よりプランクトンカウンター計測値が過小評価となった。粒子密度100 particles/ℓ以下、粒子体積密度60mm<sup>3</sup>/ℓ以下では、EPC、OPCの2種のプランクトンカウンター間の計測値の間に有意な相関 (p<0.01) があった (Fig. 5A, 5B)。一方、粒子密度100 particles/ℓ以上、粒子体積密度60mm<sup>3</sup>/ℓ以上のEPC計測値に対して、OPC計測値はそれぞれ120 particles/ℓ、35mm<sup>3</sup>/ℓのほぼ一定値をとった。

#### 表層生物環境モニタリング装置 (EPCS) を用いた8月の動物プランクトン分布

Line BでEPCSに搭載されたEPCおよびOPCで計測された粒子密度の1分間の平均値はそれぞれ0~2.2 particles/ℓ (平均: 0.26±0.41 particles/ℓ), 0~7.2 particles/ℓ (平均: 0.52±0.97 particles/ℓ), 粒子体積密度の1分間の平均値はそれぞれ0~0.5mm<sup>3</sup>/ℓ (平均: 0.07±0.10 mm<sup>3</sup>/ℓ), OPCで0~1.3 mm<sup>3</sup>/ℓ (平均: 0.17±0.23 mm<sup>3</sup>/ℓ) であった。観測開始点から50~70km付近と95~100km付近で粒子密度平均値の5倍以上となるピークが認められ、同時に水温、塩分の低下と蛍光光度の増加が観測された (Fig. 6)。

観測時間内にEPCSを通過した動物プランクトン試料中では、カイアシ類以外に夜光虫が個体数の上で優占したが (平均63.2%, Fig. 7), その平均98.5%は破損していた。破損した個体の計測値からそのまま幾何学形に近似させて見積もった場合、EPCで計測した粒子密度 (y)

と顕微鏡による測定でEPC計測範囲内にあった動物プランクトン個体数密度 ( $x$ ) との間には、

$$y=0.687x \quad (r=0.926, p<0.01) \quad \dots (5),$$

同じくOPC計測値 ( $y$ ) と顕微鏡測定値 ( $x$ ) との間には、

$$y=1.028x \quad (r=0.935, p<0.01) \quad \dots (6),$$

の有意な相関があった (Fig. 4C)。また、EPCで計測した粒子体積密度 ( $y$ ) と顕微鏡で測定した動物プランクトン現存量密度 ( $x$ ) との間に、

$$y=0.364x \quad (r=0.824, p<0.01) \quad \dots (7),$$

同じくOPC計測値 ( $y$ ) と顕微鏡測定値 ( $x$ ) との間には、

$$y=0.769x \quad (r=0.775, p<0.01) \quad \dots (8),$$

の有意な相関があった (Fig. 4D)。しかし、破損した夜光虫について、破損個体の直径から元の球体を想定して復元体積で見積もった場合、2種のプランクトンカウンター計測値と顕微鏡測定値との間には、粒子密度、粒子体積密度共に有意な関係は認められなかった。EPC, OPCの2種のプランクトンカウンター間には、粒子密度、粒子体積密度共に有意な相関 ( $p<0.01$ )

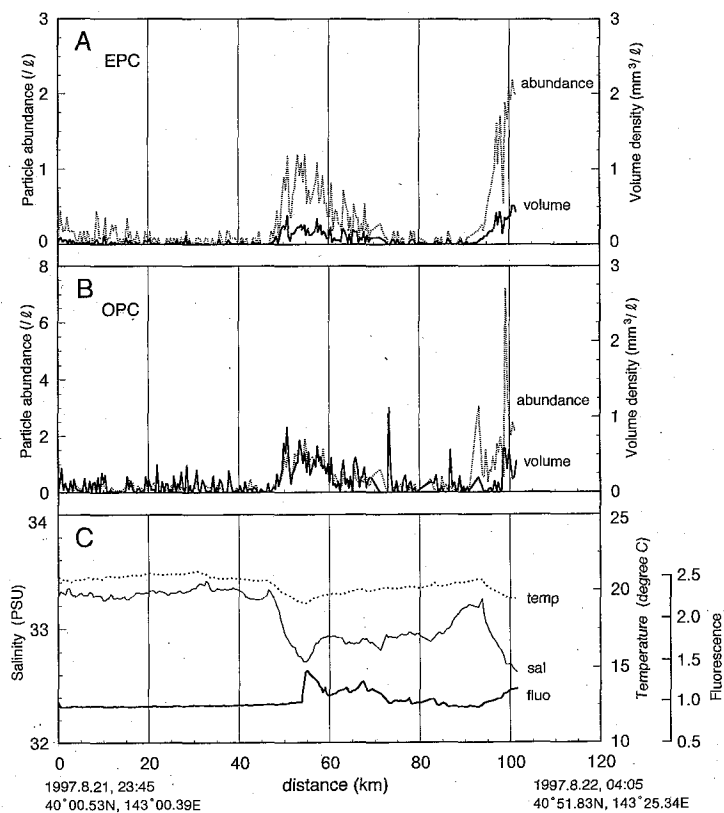


Fig. 6. Horizontal distributions of particle abundance and volume density measured by EPC (A), OPC (B) and environmental parameters (temperature, salinity, and fluorescence, C) from 23:45 h on 21 August 1997 to 04:05 h on 22 August 1997.

Particle abundance and biomass density measured with EPC and OPC are integrated to give mean values per minute.

があった (Fig. 5C, 5D)。

#### 水中現場型生物環境モニタリング装置 (SBEMS)

SBEMSで採集された動物プランクトンでは、1測点を除き、カイアシ類以外に夜光虫やクラゲ、サルパ、ヤムシなどのゼラチナスプランクトンが個体数の27~100%を占め、8月のEPCSの採集試料と同様、破損した夜光虫も認められた。顕微鏡による測定でSBEMSのEPC計測範囲内にあった動物プランクトン個体数密度および現存量密度と、EPCで計測した粒子密度および粒子体積密度との間にはいずれも有意な相関 ( $p < 0.01$ ) が認められた (Fig. 8)。一方、破損した夜光虫について、直径から元の球体を想定して復元体積で見積もった場合、SBEMSのEPC計測値と顕微鏡測定値との間には、粒子密度について有意な関係は認められなかったが、粒子体積密度についてはEPC計測値 ( $y$ ) と顕微鏡測定値 ( $x$ ) との間に有意な相関 ( $y = 0.574x$ ,  $r = 0.923$ ,  $p < 0.01$ ) が認められた。

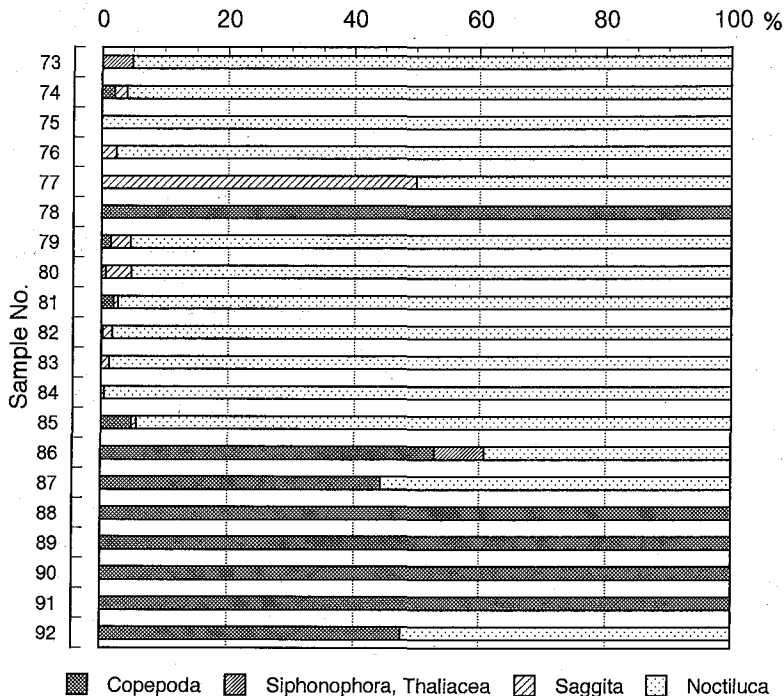


Fig. 7. Compositions of zooplankton larger than  $0.1 \text{ mm}^3$  collected with a seining net attached to the outlet of EPCS in August 1997.

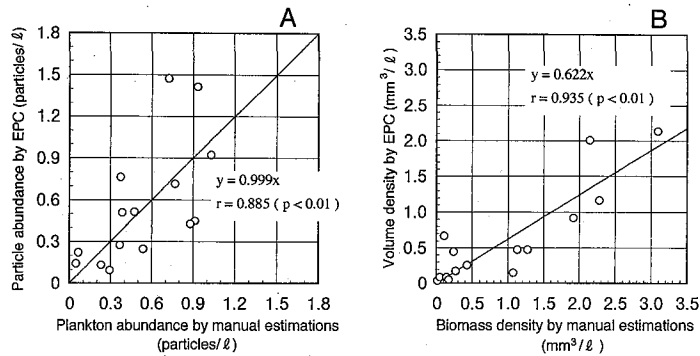


Fig. 8. Relationships between zooplankton abundance measured by plankton counter (EPC) and that counted under a microscope (A), zooplankton biomass density measured by plankton counter and that estimated from microscope observations (B) in August 1997. All data were averaged for 5 minutes. Solid lines show the regression lines between EPC measurements and those by microscope.

## 考 察

親潮水域および混合水域の動物プランクトン現存量は5月に最大となり、その後減少し、秋に再び小さなピークを持つことが報告されている(小達, 1994)。今回のEPCSによる観測でも、5月の粒子体積密度は8月に較べ10倍以上高かった。動物プランクトンの種組成では、5月はEPCS計測範囲内に含まれた動物プランクトンが全てカイアシ類であったのに対し、8月はカイアシ類以外の動物群の割合が高かった (Fig. 7)。このように、2回の観測で動物プランクトン個体数密度や種組成が大きく異なったにもかかわらず、いずれの観測でもプランクトンカウンター計測値と顕微鏡測定値との間に有意な正の相関関係が認められた (Fig. 4)。このことから親潮水域および混合水域では、プランクトンカウンターで計測した値に一定の係数を掛けることで、動物プランクトン個体数密度、現存量密度を見積もれると考えられる。一方、EPCSに搭載されたEPCとOPCの間でも5月、8月共に粒子密度、粒子体積密度共に有意な相関が得られ (Fig. 5)、この相関係数は2種のプランクトンカウンター計測値と顕微鏡測定値との間の相関係数より高かった (Fig. 4, 8)。これはEPCSの装置の構造 (Fig. 1) から、EPCとOPCが同一の海水を計測していたのに対し、顕微鏡測定用の試料は、採集とプランクトンカウンター計測との間に時間的な差が生じ、同一の海水で比較していなかったためと考えられる。この結果はEPCとOPCの計測が正確なことを示唆し、異なったプランクトンカウンターを搭載した装置間でも、データの比較、検討を行える可能性を示すものである。

EPCSに搭載されたEPCで計測した粒子体積密度の平均値を、(3)式および(7)式を用いて補正し、 $1\text{mm}^3=1\text{mg}$ 、乾重量/湿重量=0.1と仮定して乾重量 (DW) を求めると、5月は $278 \pm 852\text{mgDW}/\text{m}^3$ 、8月は $19 \pm 27\text{mgDW}/\text{m}^3$ となる。小達 (1994) を元に算出した、目合0.33 mmの中井式プランクトンネットを用いた150m以浅の動物プランクトン現存量の平均値は、親潮水域、混合水域で5月にそれぞれ $173 \pm 60\text{mgDW}/\text{m}^3$ 、 $65 \pm 26\text{mgDW}/\text{m}^3$ 、8月にそれぞれ82

$\pm 41\text{mgDW}/\text{m}^3$ ,  $27 \pm 11\text{mgDW}/\text{m}^3$ となる。また、奥村ら (1997) は目合0.1mmのTS鉛直多層ネットを用いた400m以浅の動物プランクトン現存量の平均値を、親潮水域、混合水域で5月にそれぞれ  $23.9 \pm 13.3\text{mgDW}/\text{m}^3$ ,  $24.7 \pm 4.9\text{mgDW}/\text{m}^3$ , 8月にそれぞれ  $19.2 \pm 3.5\text{mgDW}/\text{m}^3$ ,  $13.8\text{mgDW}/\text{m}^3$ と報告している。5月のEPCSの結果は小達 (1994) の親潮水域の動物プランクトン現存量平均値の95%信頼区間に含まれ、また、8月のEPCSの結果は奥村ら (1997) の結果とほぼ一致し、小達 (1994) の親潮域の動物プランクトン現存量平均値の95%信頼区間にも含まれる。このことから、季節的に動物プランクトン現存量が最も高いと考えられる5月と低い8月 (小達, 1994; 奥村ら, 1997) にEPCSで得られた結果は、過去の結果と比較して妥当な範囲にある。

EPCSによる5月および8月の観測では、粒子密度のピークは水温、塩分が変化したフロント付近で認められた (Fig. 3, Fig. 6)。暖水塊の縁でカイアシ類分布密度がしばしば高くなることが指摘されており (服部, 1993), 黒潮フロント域でもLHPRポンプ採水を組み合わせで行われた250m間隔の連続観測で動植物プランクトンの濃密な分布が観察されている (Yamamoto and Nishizawa, 1986)。今回のEPCSによる観測は10~12ノットの巡航速度で行われ、計測間隔は約300~400mであったと想定されるが、LHPRとポンプ採水の組合せによる連続観測で報告された結果と同様なフロント域のプランクトンの濃密分布を捉えられたものと判断される。

プランクトンカウンター計測値と顕微鏡測定値との間に相関が認められた場合も、計測値と測定値の比は1にならなかった。特に5月の観測では8月の観測に較べ、顕微鏡測定値よりプランクトンカウンター計測値が過小評価となった (Fig. 4A, 4B)。今回用いた2種のプランクトンカウンターでは、粒子密度が高い場合、センサー通過時に粒子が重なるため正確な計測が行えない。OPCでは粒子密度が10 particles/ $\ell$ 以上で計測値が実際の密度より小さくなり (Herman, 1988), EPCも55 particles/ $\ell$ 以上でその計測値が小さくなるとされる (Herman and Dauphinee, 1980)。5月の場合、EPCSの観測結果から得られた1分間の最大平均値は200 particles/ $\ell$ 以上であり (Fig. 3), これらから、5月は粒子の重なりによってプランクトンカウンター計測値が顕微鏡測定値より過小評価になったと考えられる。粒子密度が高かった5月では、OPCの粒子体積密度がEPCより過小評価となった。OPCは球体換算直径から粒子体積を見積もるため、粒子体積を直接計測するEPCよりも粒子の重なりによる影響を受けたと考えられる。粒子密度の低かった8月の観測では、EPC計測値と顕微鏡測定値との比はOPC計測値との比に較べ低く (Fig. 4C, 4D), プランクトンカウンター間の比較でもEPC計測値はOPC計測値より過小評価となった (Fig. 5C, 5D)。8月の顕微鏡計測では、5月に較べてEPC計測範囲以下となる動物プランクトン数が多かったこと、EPCでは計測限界付近で誤差が大きくなること (Herman and Dauphinee, 1980) から、8月にEPC計測値がOPC計測値より過小評価となったのは計測限界に近いサイズの粒子の割合が高かったためと考えられる。

8月の観測で得られた試料では破損した夜光虫が多く認められた。EPCSでは顕微鏡測定値からそのまま幾何学形に近似させて体積を見積もった場合、プランクトンカウンター計測値と顕微鏡測定値との間に有意な相関が認められたが (Fig. 4C, 4D), 直径から元の球体を想定して復元体積を見積もった場合は有意な関係が認められなかった。一方SBEMSでは、破損前の形状を想定して復元体積を見積もった場合も粒子体積密度については有意な関係が認められた。

EPCSでは装置よりも前にポンプが組込まれ、さらにプランクトンカウンターまでの海水経路も長く複雑であるのに対し (Fig. 1A), SBEMSは海水取水口にEPCが直結するため、プランクトンカウンターまでの海水経路が短く、ポンプも排水口付近に組込まれている (Fig. 1B)。これらの結果から、EPCSでは夜光虫はプランクトンカウンター到達前に、装置内を通過することで破損しており、装置の構造的差がプランクトンカウンター計測値と顕微鏡測定値との差として現れたと考えられる。

プランクトンカウンターを用いた今回の観測では、表層観測であったにもかかわらず、5月と8月の動物プランクトン現存量水準の差を把握でき、その値は過去のプランクトンネット採集による値と比較しても妥当な範囲にあった。さらに、動物プランクトンのサイズ組成の差やフロント域におけるプランクトンの濃密分布を把握できることが示され、親潮水域、混合水域の浮魚類の餌料環境の季節変動、年変動の把握、漁場形成や仔稚魚の輸送・生残の研究にプランクトンカウンターを搭載した装置の利用が有効であることが明らかとなった。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、新しい測器を用いた観測に従事して頂いた中央水産研究所漁業調査船蒼鷹丸の乗組員の方々に深く感謝いたします。

本研究は、農林水産技術会議一般別枠研究「太平洋沖合域における環境変動が漁業資源に及ぼす影響の解明」、「海洋生態系の基幹バイオマスの動態解明に関する調査」、および海洋科学技術センターとの共同研究「動物プランクトン 自動計測器を利用した海洋生態系研究のための基盤技術に関する研究」の一環として行ったものである。

## 文 献

- Boudreau, P. R. and Dickie, L. M., 1992: Biomass spectra of aquatic ecosystems in relation to fisheries yield. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **49**, 1528-1538.
- Davis, C. S., Gallager, S. M., Berman, M. S., Haury, L. R. and Strickler, J.R., 1992: The Video Plankton Recorder (VPR): Design and initial results. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, **36**, 67-81.
- 服部 寛, 1993: 暖水塊の橈脚類の分布, 月刊海洋, **25**, 99-104.
- Herman, A. W. and Dauphinee, T. M., 1980: Continuous and rapid profiling of zooplankton with an electronic counter mounted on a 'Batfish' vehicle. *Deep-Sea Research*, **27**, 79-96.
- Herman, A. W. and Mitchell, M. R., 1981: Counting and identifying copepod species with an *in situ* electronic zooplankton counter. *Deep-Sea Research*, **28**, 739-755.
- Herman, A. W., 1988: Simultaneous measurement of zooplankton and light attenuation with a new optical plankton counter. *Continental Shelf Research*, **8**, 205-221.
- Herman, A. W., Sameoto, D. D., Shunnian, C., Mitchell, M. R., Petrie, B. and

- Cochrane, N., 1991: Sources of zooplankton on the Nova Scotia Shelf and their aggregations within deep-shelf basins. *Continental Shelf Research*, **11**, 211-238.
- Herman, A. W., 1992: Design and calibration of a new optical plankton counter capable of sizing small zooplankton. *Deep-Sea Research*, **39**, 395-415.
- Herman, A. W., Cochrane, N. A. and Sameoto, D. D., 1993: Detection and abundance estimation of euphausiids using an optical plankton counter. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **94**, 165-173.
- 川崎 清, 1989: 蒼鷹丸に新設された測器について. さかな, **42**, 39-48.
- Mackas, D. L., Curran, T. A. and Sloan, D., 1981: An electronic zooplankton counting and sizing system. *OCEANS*, **9**, 783-786.
- 奥村 裕, 下田 徹, 佐々木克之, 1997: 三陸沖～房総沖における橈脚類による生産力の季節変化について. 中央水研研報, **10**, 97-122.
- 小達 和子, 1994: 東北海域における動物プランクトンの動態と長期変動に関する研究. 東北水研研報, **56**, 115-173.
- Sheldon, R. W., Sutcliffe Jr., W. H. and Paranjape, M. A., 1977: Structure of pelagic food chain and relationship between plankton and fish production. *J. Fish. Res. Board Can.*, **34**, 2344-2353.
- 為石 日出生, 杉本 隆成, 1994: 東北海域におけるマイワシ北上回遊と接岸に果たす暖水渦と暖水ストリーマの役割. 水産海洋研究, **58**, 77-90.
- Tsuda A., Sugisaki H., Ishimaru T., Saino T. and Sato T., 1993: White-noise-like distribution of the oceanic copepod *Neocalanus cristatus* in the subarctic North Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **97**, 39-46.
- Uitto, A., Heiskanen, A. S., Lignell, R., Autio, R. and Pajuniemi, R., 1997: Summer dynamics of the coastal planktonic food web in the northern Baltic Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **151**, 27-41.
- Yamamoto T. and Nishizawa S., 1986: Small-scale zooplankton aggregations at the front of a Kuroshio warm-core ring. *Deep-Sea Research*, **33**, 1729-1740.