

## 東京湾の微小動物プランクトンとその季節的消長\*

野村 英明\*\*・石丸 隆\*\*・村野 正昭\*\*

### Microzooplankton assemblage and its seasonal variation in Tokyo Bay, Japan\*\*

Hideaki NOMURA\*\*, Takashi ISHIMARU\*\* and Masaaki MURANO\*\*

**Abstract:** During the period from April 1989 to May 1991, monthly collections of microzooplankton were conducted at a station (st. T-4) in the central part of Tokyo Bay which is the most eutrophied inlet in Japan. Microzooplankton were collected with a 20  $\mu$ m mesh net by filtering 5 liters of seawater obtained from 6 layers between the surface and 25 m deep at intervals of 5 m.

On average, microzooplankton assemblage was composed of tintinnids (69%), aloricate ciliates (17%), copepod nauplii (12%) and other protozoans (2%). Among 46 species identified, 3 tintinnids (*Amphorellopsis acuta*, *Helicostomella fusiformis* and *H. longa*), an aloricate ciliate (*Tiarina fusus*), and nauplius of *Oithona davisae* were found predominantly. Because one protistan species occupied a large part of microzooplankton assemblage in each observation, the diversity of the assemblage was low throughout the year.

The highest population density of microzooplankton on average over water column (ca.  $2.2 \times 10^4$  inds/L) was observed in temporal scale in July 1989 and in spatial scale at the surface (ca.  $5.9 \times 10^4$  inds/L). Two peaks were observed in seasonal variation; the primary one was from late spring to early summer and secondary one in autumn. Microzooplankton tended to be abundant in the mixed layer so that the range of their vertical distribution varied with the seasonal change of the mixed layer depth.

Eutrophication in Tokyo Bay proceeded drastically between 1960's and early 1970's. Although the density of tintinnids increased during this period, the species composition did not change. The trophic state and the abundance of tintinnids has been in the same level since late 1970's. However, the species composition has changed. *Tintinnopsis* having agglutinated lorica predominated in tintinnids until early 1970's, while diaphanous-loricated species such as *Amphorellopsis* began to increase from late 1970's and predominate recently.

In comparison of the present result with the historical plankton records in Tokyo Bay and with recent records in other inlets in Japan, the population density of microzooplankton and the proportion of a microcopepod, *Oithona davisae*, in netplankton community seem to increase markedly during the process of hyper-eutrophication.

#### 1. 緒 言

東京湾は日本で最も早くから富栄養化した内湾の一つである。富栄養化は1955年頃に始まり、1970年代初頭には現在のレベルに達した(宇野木・岸野, 1977)。富栄

養化の進行と微小動物プランクトンの組成変化との関係については、丸茂ほか(1974)、村野ほか(1977)、穴久保・村野(1991)などにより研究されたが、これらは、種組成の年代間の比較を目的とした断片的な調査に基づくものであったり、有鐘纖毛虫類のみを対象としているなど、群集組成全体を継続的に研究したものではない。

一方、微小動物プランクトンは、近年、生理活性が高く(谷口, 1989)、ナノサイズの植物プランクトンに対して高い摂餌圧を持つこと(CAPRIULO and CARPENTER,

\* 1992年4月30日受理 Received April 30, 1992

\*\* 東京水産大学水産生物学講座

Department of Aquatic Biosciences, Tokyo University of Fisheries, 4-5-7 Konan, Minato-ku, 108 Tokyo

1983), また, 上位の捕食者である橈脚類 (LEBOUR, 1922; STOECKER and EGLOFF, 1987; WIADNYANA and RASSOULZADEGAN, 1989) やクシクラゲ類 (STOCKER *et al.*, 1987b), ミズクラゲ (STOCKER *et al.*, 1987a) 等の餌となっていることが知られるようになり, その重要性が見直されている。

そこで本研究では, 東京湾の生態系における微小動物プランクトンの役割を解明する基礎として, 微小動物プランクトンの周年にわたる出現状況を定量的に明らかにすることを試みる。また, これらの結果を用い, 1980年代以降における微小動物プランクトン群集組成の遷移について論じる。

## 2. 方法

採集は, 1989年4月から1991年5月までの約2年間に, 東京水産大学研究練習船「青鷹丸」あるいは「ひよどり」により, 昼間, 木更津沖の定点T-4 (水深約26m) において行った (Fig. 1)。VAN DORN 採水器により, 水深0mから25mまで5m間隔で各層採水を行い, この海水5Lを20 $\mu$ m目合のネットを用いて濾過し, 動物プランクトンを捕集した。試料は, フォルムアルデヒドの濃度が約2%になるように加えて固定し, 実験室に持ち帰った後, 沈殿濃縮して一定容積とした。この一部を顕微鏡観察に用い, 種の同定及び計数を行った。微小動物プランクトンの月別の出現密度は, 全層の平均として表した。水温及び塩分の測定は, CTDを用いて行った。

「微小動物プランクトン」は, 一般に200 $\mu$ m以下の動物プランクトンを指すことが多いが (谷口, 1989), 橈脚類ノープリウス等では200 $\mu$ mを境界として区分することは必ずしも適当ではないため, 本研究では20 $\mu$ mのネットで捕集可能な原生動物と橈脚類ノープリウス及びワムシ類を微小動物プランクトンとした。

有鐘織毛虫類の計数は, ロリカによって行った。ロリカは, 原虫が抜け出た後にも長期間にわたって水中に残存することがあるが (佐野, 1975), 採集・固定の際に抜け出ることも考えられることから, 明らかに分解途中と見なされるロリカ以外はすべて採集時には生きていたものとして取り扱った。無殻織毛虫類はホルマリンによる固定保存が困難であるといわれているが, 30 $\mu$ m以上の種では原型を良くとどめることが近年明らかにされた (加藤ほか, 未発表)。そこでホルマリンによる固定は, 無殻織毛虫類の同定・計数に支障はないと判断した。橈脚類のノープリウスは, *Oithona davisae* の他は種までの同定を行わず一括して扱った。

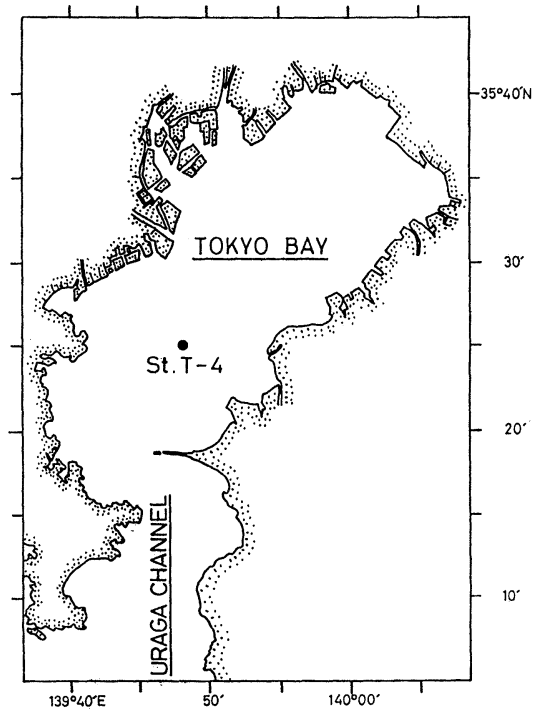


Fig. 1. Sampling location.

## 3. 結果

### 3.1. 海況

水温は, 9.2~27.6°Cの間で変動し, 最高は1990年8月に, 最低は1990年2月に共に表層で観察された。水柱中で水温が均一化したのは (上下層の水温差が1°C未満), 1989年11月, 1990年1月及び11月の3回であった (Fig. 2)。

表層での塩分は, 23.0~32.8の間で変動し, 冬季に高く (1~3月に32.1~32.8), 夏季に低い (7~9月に23.0~29.9)。1989年は記録的な降水量を記録した年で29以下の塩分が6, 7, 9, 10月にみられた。低層では, 32.9~34.2の間で変動したが, 特に季節的な傾向は認められなかった (Fig. 3)。

本調査海域においては, 循環期でも上下層が水温・塩分ともに均一化したのは1990年1月のみであり, 高温・高塩分水が常に底層に分布した。そのため鉛直循環は底まで達せず, 成層構造は通年維持されていた。

### 3.2. 出現種と群集組成

本研究では, 3門8目46種の微小動物プランクトンが同定された。これらのうちの39種は有鐘織毛虫類で占められた (Table 1)。

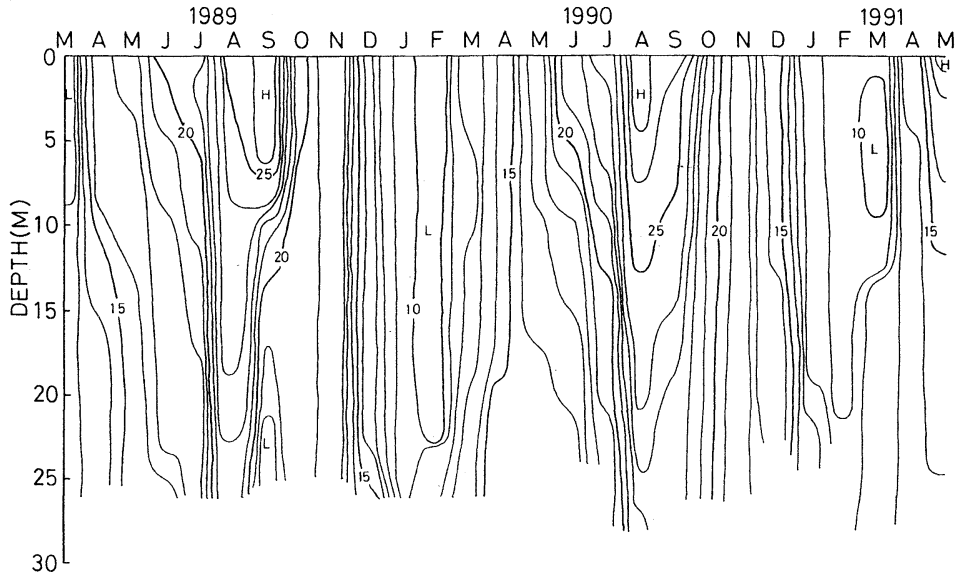


Fig. 2. Water temperature. Seasonal change of vertical distribution. Values indicate °C.

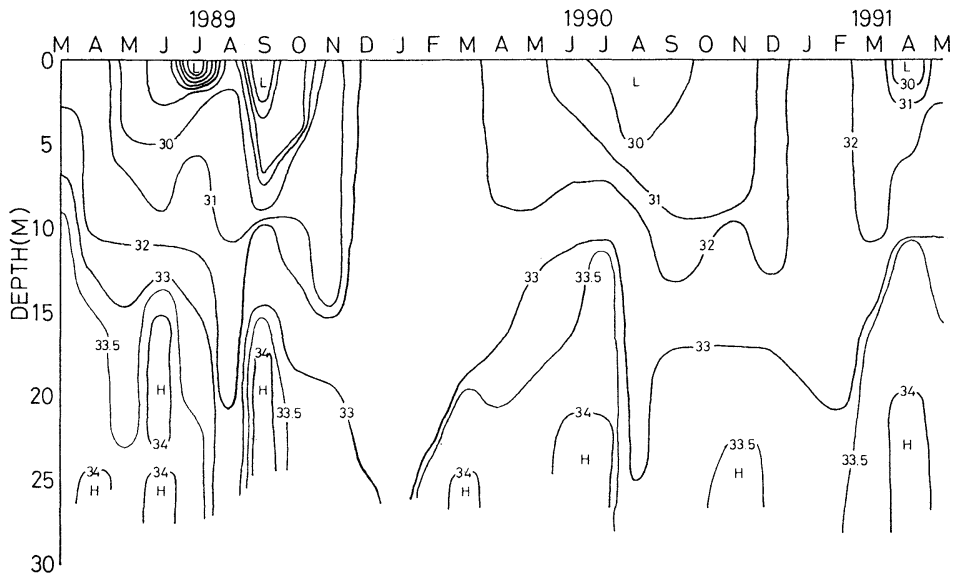


Fig. 3. Salinity. Seasonal change of vertical distribution. Values indicate PSU.

微小動物プランクトン中に出現する主な動物群は、繊毛虫類で微小動物プランクトンの年平均出現密度（4639 個体/L）の85.8%を占めた。繊毛虫類は、有鐘繊毛虫類が年平均出現密度に対して69.0%、無殻繊毛虫類が16.8%であった。次いで橈脚類ノープリウスは12.2%、ワムシ類は1.9%で、残りは放散虫類・有孔虫類であった。

### 3.3. 出現個体数密度の季節変化

微小動物プランクトンの総出現密度は、春季（4月から6月）と秋季（11月）に高密度となる二峰型を示した。個体数密度は、606~21656個体/Lに変動し、最高は1989年7月、最低は1990年4月に見られた。この増減は、ほぼ有鐘繊毛虫類の増減を反映している。

有鐘繊毛虫類の出現密度の最高は1989年7月（20160

Table 1. Species list of microzooplankton collected in central part of Tokyo Bay during a period from April 1989 to May 1991.

Phylum Protozoa	<i>Stenosemella parvicollis</i> (MARSHALL)
Subclass Actinopodia	S. <i>ventricosa</i> (CLAPARÈDE & LACHMANN)
Order Radiolarida	<i>Tintinnidium mucicola</i> (CLAPARÈDE & LACHMANN)
<i>Acanthometron pellucidum</i> J. MÜLLER	<i>Tintinnopsis ampla</i> HADA
<i>Pleurspis costata</i> (J. MÜLLER) ?	T. <i>angustior</i> JÖRGENSEN
<i>Sticholonche zanclea</i> HERTWIG	T. <i>aperta</i> var. <i>tocantinensis</i> KOFOID & CAMPBELL
sp. 1	T. <i>beroidea</i> STEIN
sp. 2	T. <i>corniger</i> HADA
Subclass Rhizopodia	T. <i>directa</i> HADA
Order Foraminiferida	T. <i>gracilis</i> KOFOID & CAMPBELL
<i>Globigerina bulloides</i> d'ORBIGNY	T. <i>karajacensis</i> var. <i>rotundata</i> KOFOID & CAMPBELL
sp.	T. <i>kofoidi</i> HADA
Subclass Ciliata	T. <i>lohmanni</i> LAACKMANN
Order Gymnostomatida	T. <i>nana</i> LOHMANN
<i>Didinium gargantua</i> MEUNIER	T. <i>radix</i> (IMHOF)
<i>Tiarina fusus</i> (CLAPARÈDE & LACHMANN)	T. <i>strigosa</i> MEUNIER
sp.	T. <i>tubulosa</i> LEVANDOR
Order Oligotrichida	T. <i>tubulosoides</i> MEUNIER
<i>Lohmanniella</i> spp.	T. sp.
<i>Strombidium</i> spp.	<i>Undella hyalinella</i> KOFOID & CAMPBELL
<i>Strombilidium</i> spp.	
Order Tintinnida	
<i>Amphorellopsis acuta</i> (SCHMIDT)	
<i>Codonellopsis morchella</i> (CLEVE)	
<i>Coxiella ampla</i> (JÖRGENSEN)	
C. <i>decipiens</i> JÖRGENSEN	
C. <i>longa</i> (BRANDT)	
C. sp.	
<i>Eutintinnus lusus-undae</i> ENTZ	
E. <i>rectus</i> WAILES	
E. <i>tubulosus</i> OSTENFEID	
E. <i>tubus</i> STOKES	
E. <i>turris</i> KOFOID & CAMPBELL	
<i>Favella brevis</i> KOFOID & CAMPBELL ?	
F. <i>campanula</i> (SCHMIDT)	
F. <i>ehrenbergii</i> (CLAPARÈDE & LACHMANN)	
F. <i>taraikaensis</i> HADA	
<i>Helicostomella fusiformis</i> (MEUNIER)	
H. <i>longa</i> (BRANDT)	
H. <i>subulata</i> (EHRENBERG)	
<i>Metacylis mereschkowskii</i> KOFOID & CAMPBELL	
<i>Protorhabdonella simplex</i> (CLEVE)	
<i>Salpingella lineata</i> (ENTZ. Sr.)	
	Phylum Rotifera
	Subclass Monogonotia
	Order Epiphanoidea
	<i>Lepadella</i> sp.
	Order Notommatoida
	<i>Trichocerca</i> spp.
	<i>Synchaeta</i> spp.
	Phylum Arthropoda
	Subclass Copepoda
	Order Calanoida
	<i>Acartia</i> sp.
	<i>Calanus</i> sp.
	<i>Centropages</i> sp.
	<i>Labidocera</i> sp.
	<i>Paracalanus</i> sp.
	<i>Pseudodiaptomus</i> sp. spp.
	Order Cyclopoida
	<i>Oithona davisae</i> FERRARI & ORSI spp.

個体/L), 最低は1990年4月(254個体/L)にみられた(Fig. 4)。年平均出現密度は3203個体/Lであった。

無殻纖毛虫類も同様に年2回(春季と晩夏)の高密度期がみられた。出現密度の最高は1989年5月(4428個体

/L), 最低は1990年11月(60個体/L)であった(Fig. 4)。年平均出現密度は778個体/Lであった。

橈脚類ノープリウスは、主に6月から8月に高密度に分布した。最高出現密度は1990年6月(2208個体/L),

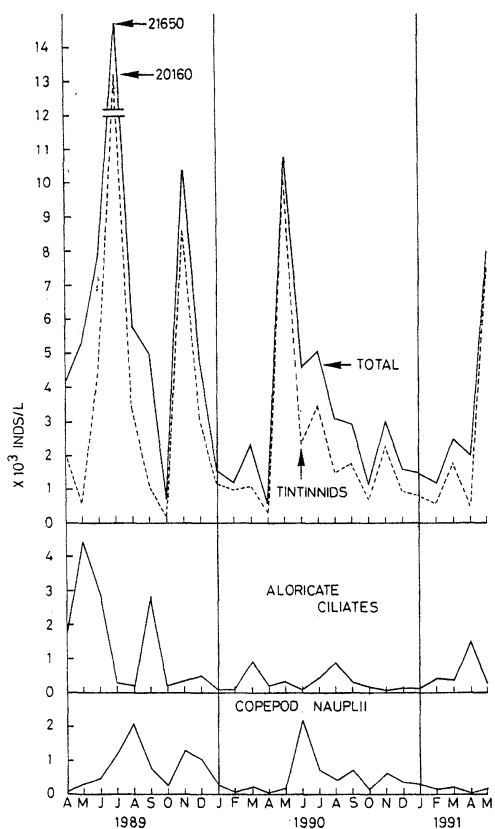


Fig. 4. Total microzooplankton, tintinnids, aloricate ciliates and copepod nauplii. Seasonal variations in abundance.

最低は1991年4月(50個体/L)にみられた(Fig. 4)。橈脚類ノープリウスは複数種出現したが、この変動は、

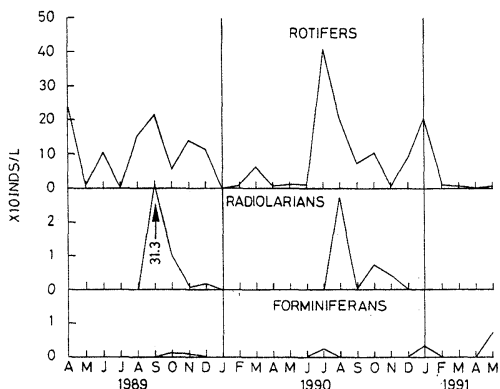


Fig. 5. Rotifers, radiolarians and forminiferans. Seasonal variation in abundance.

主として *Oithona davisae* のノープリウスの出現密度を反映している。年平均出現密度は566個体/Lであった。

ワムシ類は, *Synchaeta* 属及び *Trichocerca* 属が主で, *Lepadella* sp. は1990年7月(23個体/L)に出現したのみであった。ワムシ類の季節的変動は著しいが、概して夏季に出現密度が高くなる。出現密度の最高は1990年7月(408個体/L)であった。1989年7月, 1990年1月, 1991年4月には出現しなかった(Fig. 5)。年平均出現密度は86個体/Lであった。

放散虫類は8月, 9月に出現し, 12月頃までみられた。最高出現密度は1989年9月(31個体/L)で, 冬季及び春季には出現しなかった(Fig. 5)。年平均出現密度は3.2個体/Lであった。

有孔虫類は一定の出現様式を示さず, 出現密度は, 最高でも7個体/L(1991年5月)であった(Fig. 5)。年平均出現密度は0.6個体/Lであった。

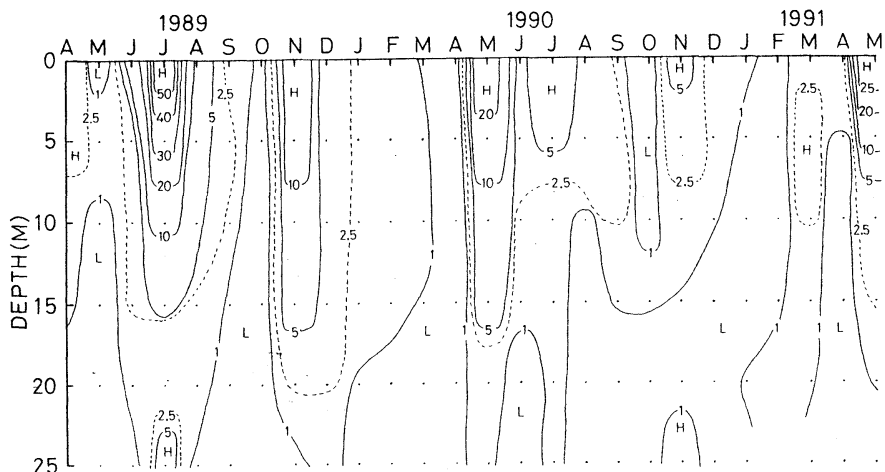


Fig. 6. Tintinnids. Seasonal change of vertical distribution. Values are  $\times 10^3$  INDS/L.

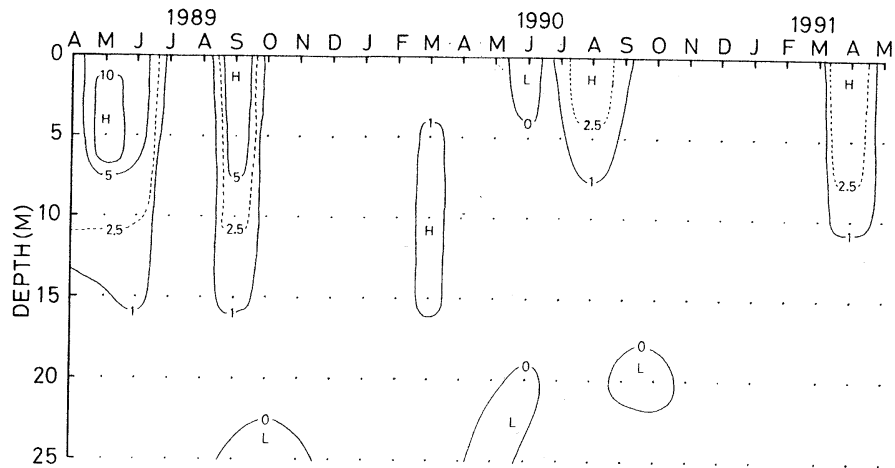


Fig. 7. Aloricate ciliates. Seasonal change of vertical distribution. Values are  $\times 10^8$  INDS/L.

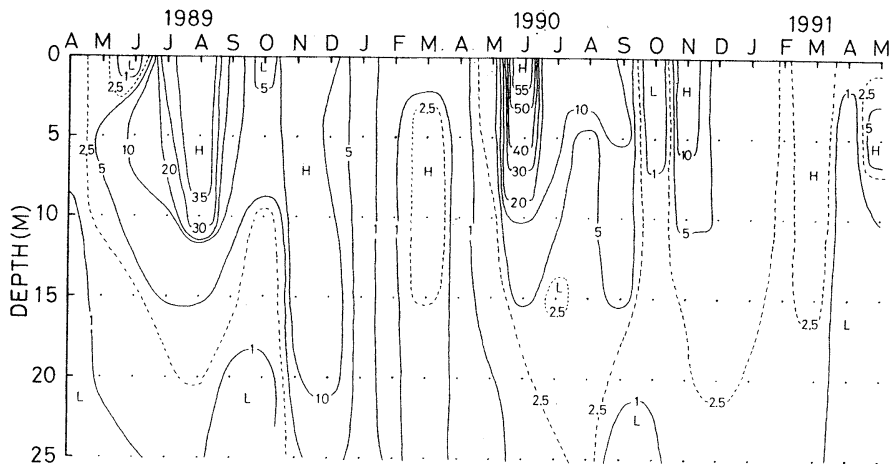


Fig. 8. Copepod nauplii. Seasonal change of vertical distribution. Values are  $\times 10^2$  INDS/L.

### 3.4. 鉛直分布

微小動物プランクトンは、出現密度の高い5月から11月には、主に10m以浅、特に5m以浅に分布した。混合層内における分布はほぼ均一であり、混合層がうすくなると分布密度が高くなる傾向がみられた。20m以深では上層の10m以浅における4200~9800個体/Lに比べて少なく、通常、1500個体/L以下であった。この様な微小動物プランクトンの鉛直分布様式は、卓越する有鐘纖毛虫類の鉛直分布を反映していた (Figs. 2, 3, 6)。

有鐘纖毛虫類は、1990年と1991年の5月及び1989年7月には0mでそれぞれ23200, 26550, 54884個体/Lの高密度な分布を示した (微小動物プランクトン全体では0mでそれぞれ24164, 27652, 58506個体/L)。1989, 1990

両年の11月にみられた小さなピークにおいては、0mでそれぞれ14992, 5440個体/Lであった (Figs. 4, 6)。

無殻纖毛虫類が、多く出現した1990年3月, 1991年4月, 1989年5月, 1990年8月, 1989年9月のうちで3月と5月は、*Tiarina fusus* によるが、8月と9月は *Lohmanniella* spp. の増加によるものであった。また、1990年3月及び1991年4月には、同定不能の種が高密度に出現した。無殻種は通常、0~10mに多く分布し、15m以深で減少するが、有鐘纖毛虫類が表層で多く出現するのは異なり、*Tiarina fusus* が多くみられた3月と5月は5mあるいは10mに分布極大が観察された (それぞれ1780, 12980個体/L)。また、例えば1990年2月のように、分布密度が中層で減少した後、下層で再び増

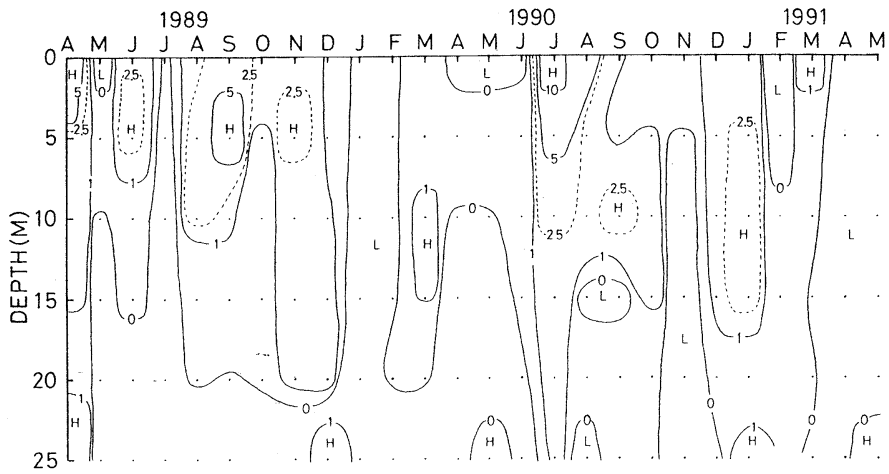


Fig. 9. Rotifers. Seasonal change of vertical distribution. Values are  $\times 10^2$  INDS/L.

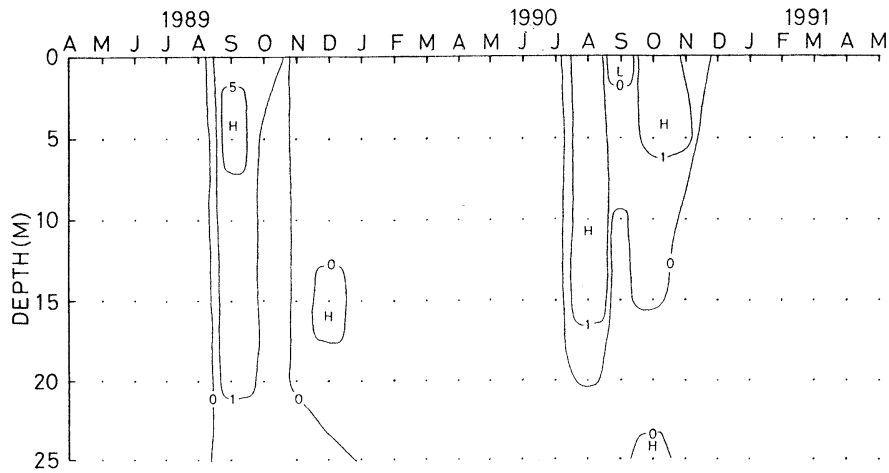


Fig. 10. Radiolarians. Seasonal change of vertical distribution. Values are  $\times 10$  INDS/L.

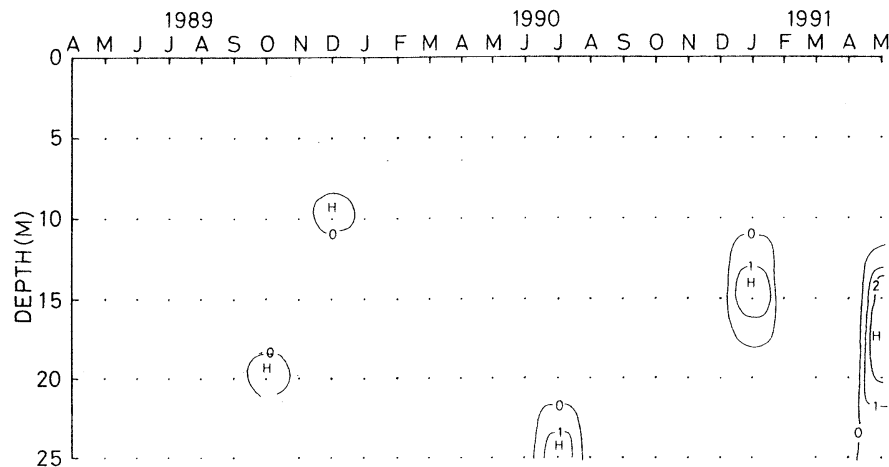
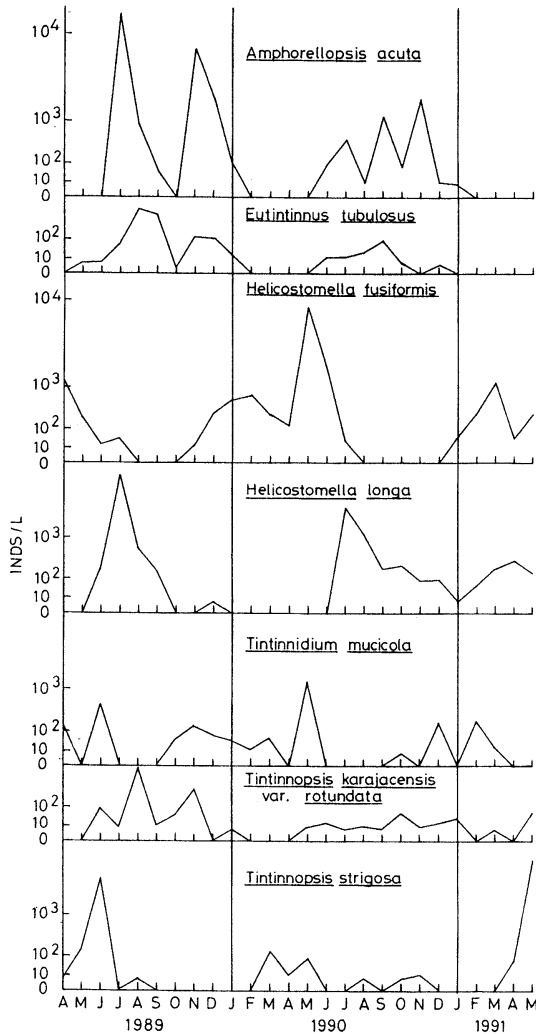


Fig. 11. Foraminiferans. Seasonal change of vertical distribution. Values are  $\times 10$  INDS/L.



加する、有鐘纖毛虫類とは異なる分布様式がみられた (Figs. 4, 7)。

橈脚類ノープリウスは、26回の観測のうち17回で中層に分布極大を示した。橈脚類ノープリウスが特に高密度に出現した月のうち、1990年6月は表面(5725個体/L)に最も高密度に出現したが、それ以外では5mに極大がみられた。また、出現密度は15~20m付近で急激に低下し、25mでは通常100個体/L前後であった (Figs. 4, 8)。

ワムシ類は、8月から9月には、10m以浅に多く分布し、その他の月では明らかな鉛直分布の傾向はみられなかったが、25m層での出現密度は低かった。最も多く出現した1990年7月には、0mで1150個体/Lであった (Figs. 5, 9)。

放散虫類は、主に中層にみられた。最も多かったのは、1989年9月の5m(88個体/L)であった (Figs. 5, 10)。

有孔虫類は、10m以深に出現し、1991年1月の15m層と1991年5月の15、20m層に20個体/Lが出現した (Figs. 5, 11)。

### 3.5. 主要種の出現状況

#### 3.5.1. 有鐘纖毛虫類

##### *Amphorellopsis acuta*

有鐘纖毛虫類の中で最も高密度に出現した。年平均出現密度は、1119個体/Lであった。初夏と秋季に多く、

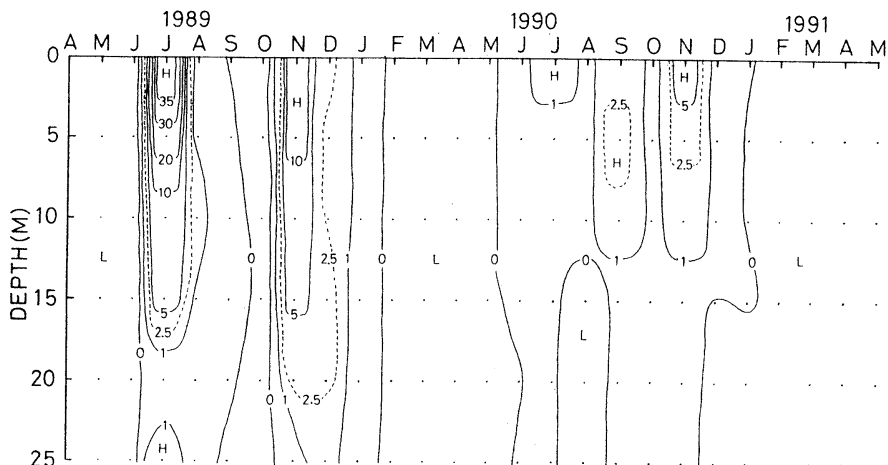


Fig. 13. *Amphorellopsis acuta*. Seasonal change of vertical distribution. Values are  $\times 10^8$  INDS/L.

Fig. 12. *Amphorellopsis acuta*, *Eutintinnus tubulosus*, *Helicostomella fusiformis*, *H. longa*, *Tintinnidium mucicola*, *Tintinnopsis karajacensis* var. *rotundata* and *T. strigosa*. Seasonal variations in abundance of each tintinnid species.



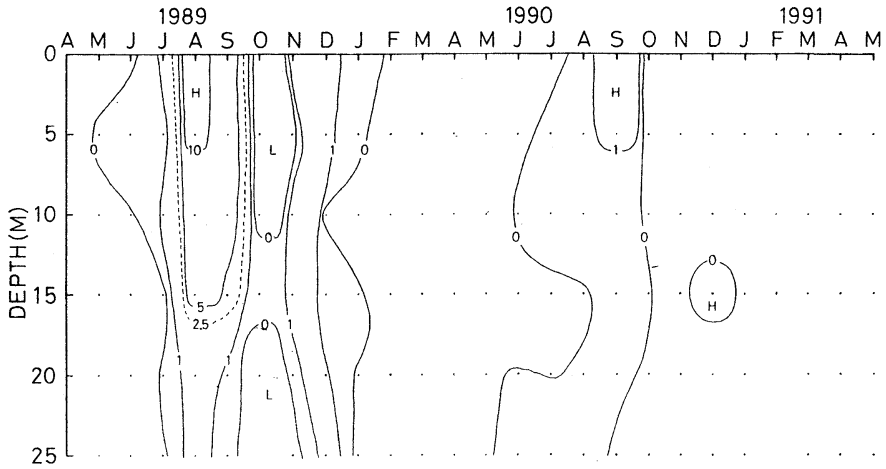


Fig. 14. *Eutintinnus tubulosus*. Seasonal change of vertical distribution. Values are  $\times 10^2$  INDS/L.

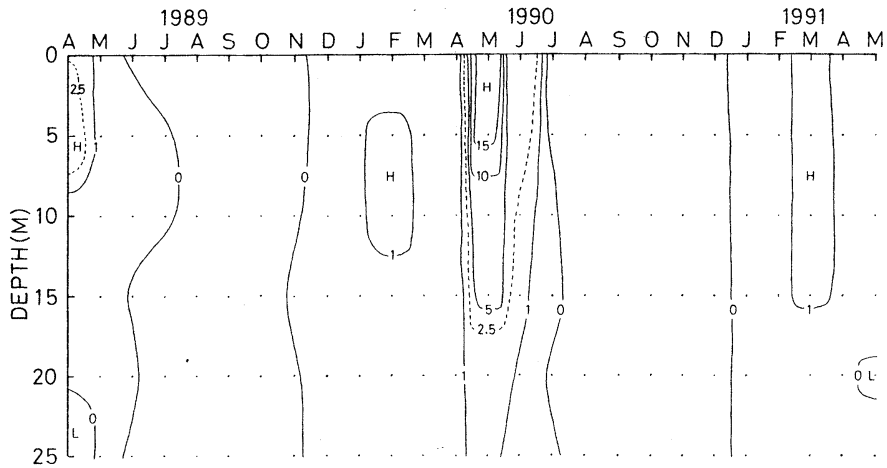


Fig. 15. *Helicostomella fusiformis*. Seasonal change of vertical distribution. Values are  $\times 10^3$  INDS/L.

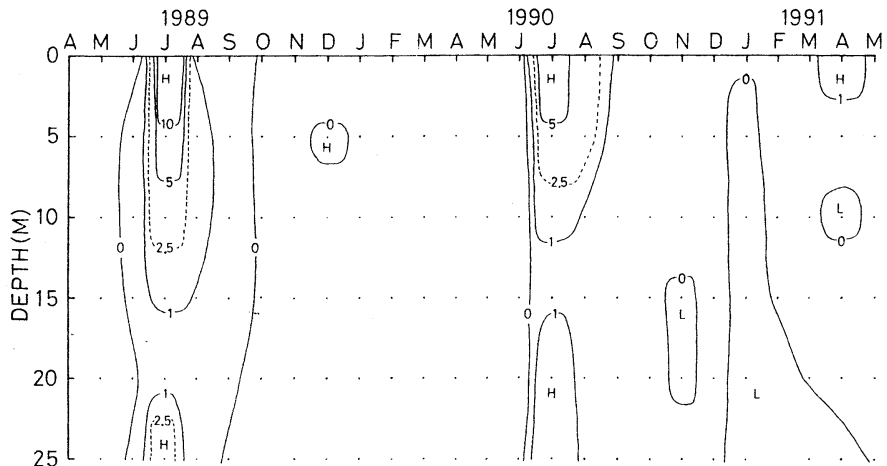


Fig. 16. *Helicostomella longa*. Seasonal change of vertical distribution. Values are  $\times 10^3$  INDS/L.

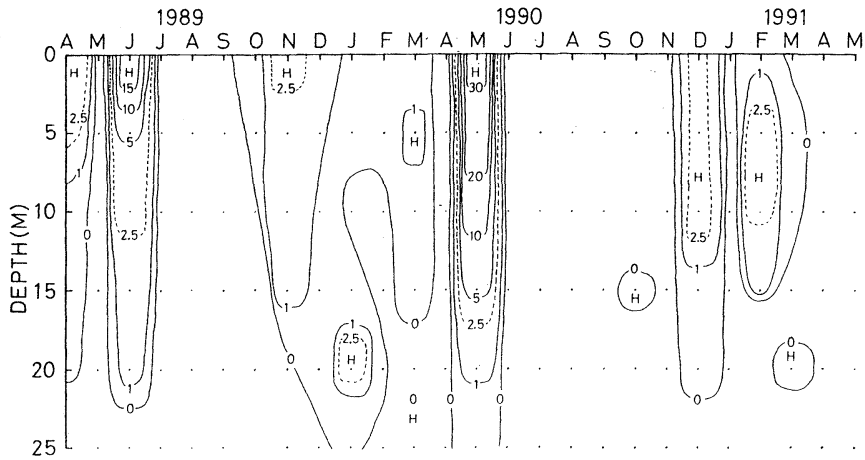


Fig. 17. *Tintinnidium mucicola*. Seasonal change of vertical distribution. Values are  $\times 10^8$  INDS/L.

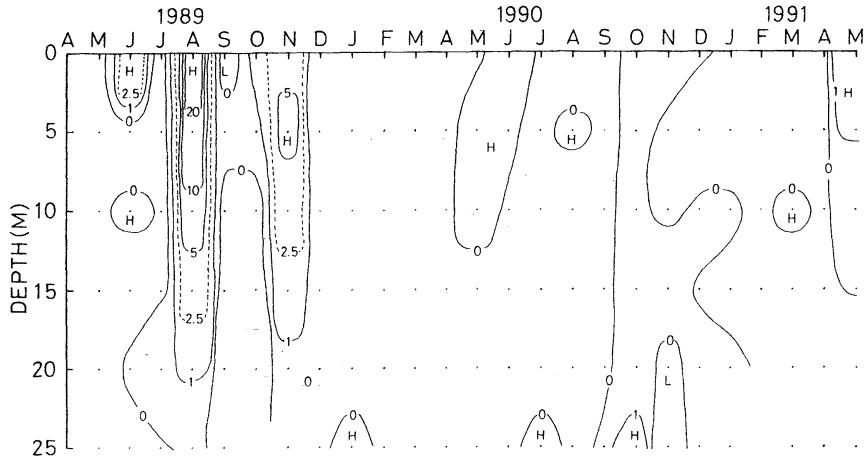


Fig. 18. *Tintinnopsis karajacensis* var. *rotundata*. Seasonal change of vertical distribution. Values are  $\times 10^8$  INDS/L.

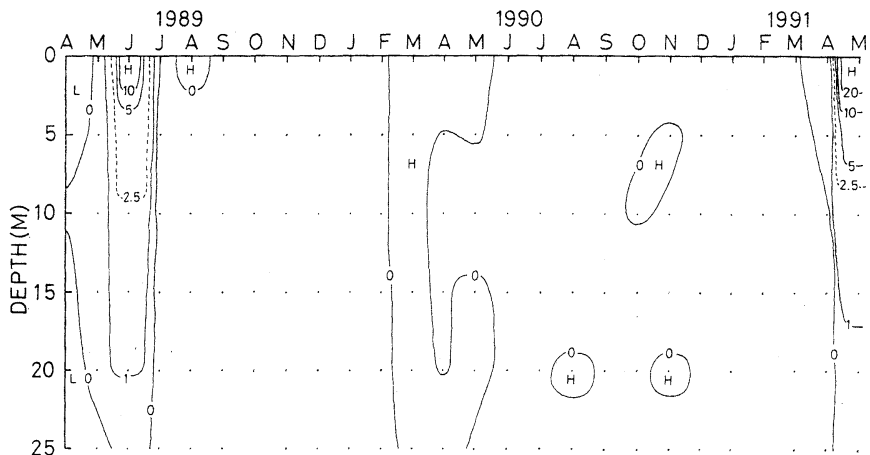


Fig. 19. *Tintinnopsis strigosa*. Seasonal change of vertical distribution. Values are  $\times 10^8$  INDS/L.

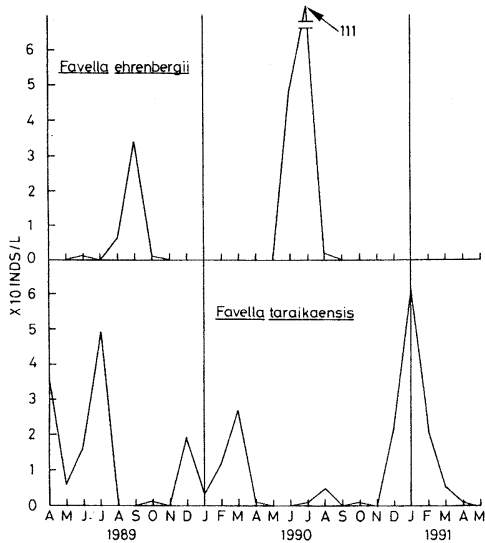


Fig. 20. *Favella ehrenbergii* and *Favella taraikaensis*. Seasonal variations in abundance.

特に1989年7月, 11月には出現密度がそれぞれ13832, 7395個体/Lで, 最高密度は1989年7月の0 mの39900個体/Lであった。本種は2月から5月には出現しなかった。鉛直的には15m以浅に多く分布し, それ以深で急減した (Figs. 12, 13)。

#### *Eutintinnus tubulosus*

年平均出現密度は60個体/Lであった。冬季から春季にかけては少なく (10個体/L以下), 特に2月から4月には出現しなかった。最も多く出現したのは1989年8月で (617個体/L), 最高密度は0, 5mにみられ, とともに1080個体/Lであった。A. *acuta* と同様15m以浅に多

く出現したが, 1989年12月には20m以深に分布の中心がみられた。また, 1989年に比べ1990年には密度は季節的に急激な変動を示さなかった (Figs. 12, 14)。

#### *Helicostomella fusiformis*

本種はA. *acuta* に次いで多く出現した。年平均出現密度は632個体/Lであった。水温の高い8月から11月にはほとんど出現しなかった。最多出現は1990年5月 (8717個体/L) で, 最高密度は0 mにみられた (19900個体/L)。分布の中心は, 高密度時には0 mに, その他の月は5~10mにみられた (Figs. 12, 15)。

#### *Helicostomella longa*

年平均出現密度は488個体/Lであった。H. *fusiformis* とは逆に高水温時に高密度に出現した。最多出現は1989年7月 (6147個体/L) で, 最高密度は0 mにみられた (14650個体/L)。主に表層に多く出現した (Figs. 12, 16)。本種を含む以上4種は全て透明なロリカを持つ種である。

#### *Tintinnidium musicola*

年平均出現密度は104個体/Lであった。月毎の出現密度は大きく変動するが, 7月から9月には出現しなかった。最多出現は1990年5月 (1343個体/L) で, 最高密度は0 mにみられた (3000個体/L)。主に表層に多く出現したが, 傾向は一樣ではなく, 10m (1990年12月, 1991年2月) や20m (1990年1月) に分布の中心を示すことがあった (Figs. 12, 17)。

#### *Tintinnopsis karajacensis* var. *rotundata*

年平均出現密度は61個体/Lであった。5月から11月に多く出現し, 12月から4月には少なかった。最多出現は1989年8月 (930個体/L) で, 最高密度は0 mにみら

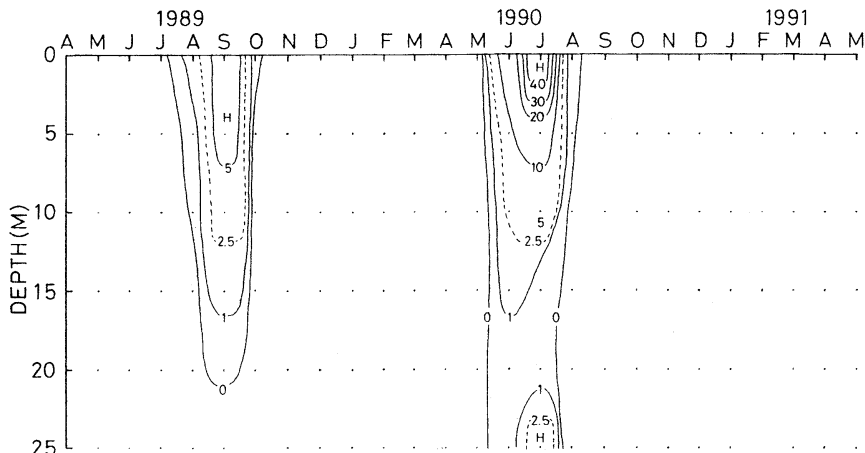


Fig. 21. *Favella ehrenbergii*. Seasonal change of vertical distribution. Values are  $\times 10$  INDS/L.

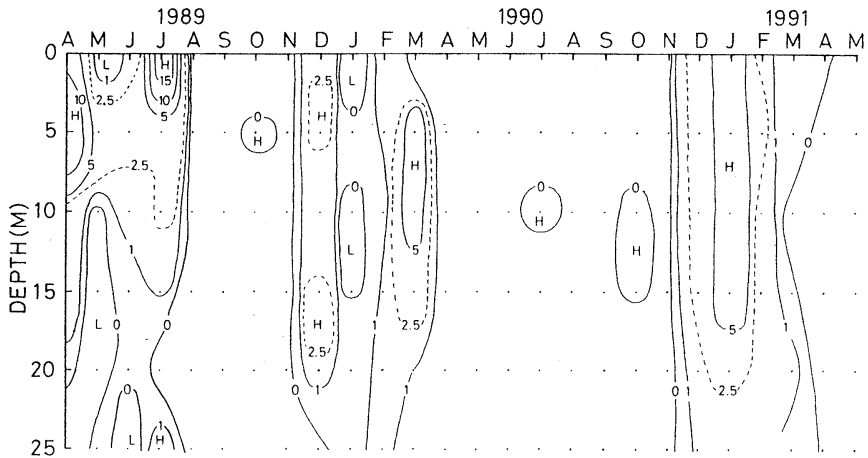


Fig. 22. *Favella taraikaensis*. Seasonal distribution in vertical section. Values are  $\times 10$  INDS/L.

れた (2140個体/L)。分布の中心は0~10mの間で変動したが、通常15m以深では急減した。1989年には出現期間中の密度の増減が激しかったが、1990年にはなだらかであった (Figs. 12, 18)。

*Tintinnopsis strigosa*

年平均出現密度は358個体/Lであった。主に3月から6月に出現し、その他の月は10個体/L以下であった。1991年5月と1989年6月には、それぞれ5310、3363個体/L出現し、最高密度は1991年5月の0mにみられた (23650個体/L)。1990年には、全体的に出現密度が低く、最高は3月の133個体/Lであった。高密度に出現した3月から6月にはいずれも0mに分布の中心がみられた (Figs. 12, 19)。

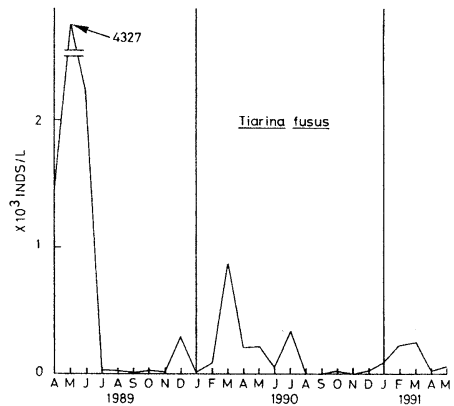


Fig. 23. *Tiarina fusus*. Seasonal variation in abundance.

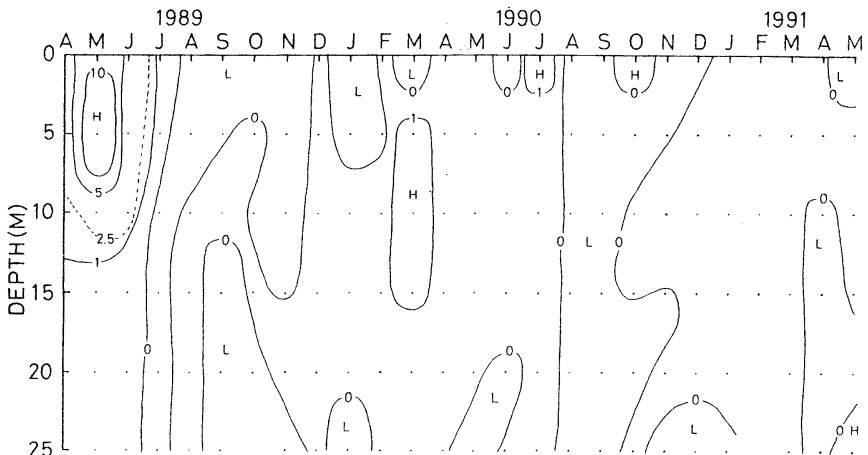


Fig. 24. *Tiarina fusus*. Seasonal distribution in vertical section. Values are  $\times 10^3$  INDS/L.

*Favella ehrenbergii*

*Favella* 属は出現密度は低い、有鐘纖毛虫類の中では大型でネットサンプル中に残存し、また、ロリカが特徴的であることから、東京湾においては過去に報告が多い(丸茂ほか, 1974; 村野ほか, 1977; 鈴木, 1979など)。*F. ehrenbergii* の年平均出現密度は8個体/Lであった。6月から10月に出現し、11月から5月までは出現しなかった。多く出現したのは1990年7月(111個体/L)で、最高出現密度は0 mにみられた(404個体/L)。鉛直的には表層に多く、分布様式は、穴久保・村野(1991)と同様であった(Figs. 20, 21)。

*Favella taraikaensis*

年平均出現密度は11個体/Lであった。*F. ehrenbergii* とは逆に、8月から11月には出現しないか、出現しても5個体/L以下であった。本種が多く出現したのは1991年1月(61個体/L)で、最高密度は1989年7月の0 mにみられた(184個体/L)。鉛直的には過去の報告にみられるように(鈴木, 1979; 穴久保・村野, 1991)、中層に多く分布した(Figs. 20, 22)。穴久保・村野(1991)はこれら*Favella* 属の2種は、明らかに出現時期が異なるとしているが、本研究においては出現時期が、しばしば重複して観察された。同様のことは鈴木(1979)によっても報告されている。

## 3.5.2. 無殻纖毛虫類

*Tiarina fusus*

年平均出現密度は423個体/Lであった。ほぼ周年出現したが、2月から6月に主に出現し、最も多く出現したのは1989年5月(4327個体/L)で、最高密度は5 mにみられた(12840個体/L)。中層に多く分布し、20, 25 m

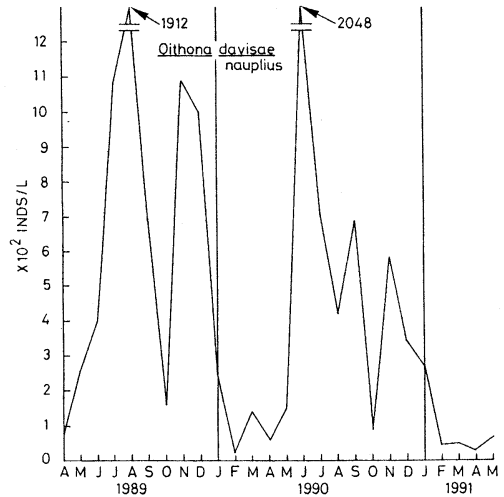


Fig. 25. Nauplius of *Oithona davisae*. Seasonal variation in abundance.

層ではいずれの月においても少なかった(Figs. 23, 24)。

## 3.5.3. 橈脚類ノープリウス

*Oithona davisae*

年平均出現密度は501個体/Lであった。本種のノープリウスは、周年出現するが、主な出現時期は5月から1月で、成体の多い時期(穴久保・村野, 1991)と一致する。最も多く出現したのは1990年6月(2048個体/L)には、最高密度は0 mにみられたが(5625個体/L)、通常は鉛直的に10m以浅、主に5~10mに分布した(Figs. 25, 26)。

## 4. 考 察

## 4.1. 東京湾の微小動物プランクトンの群集組成の特徴

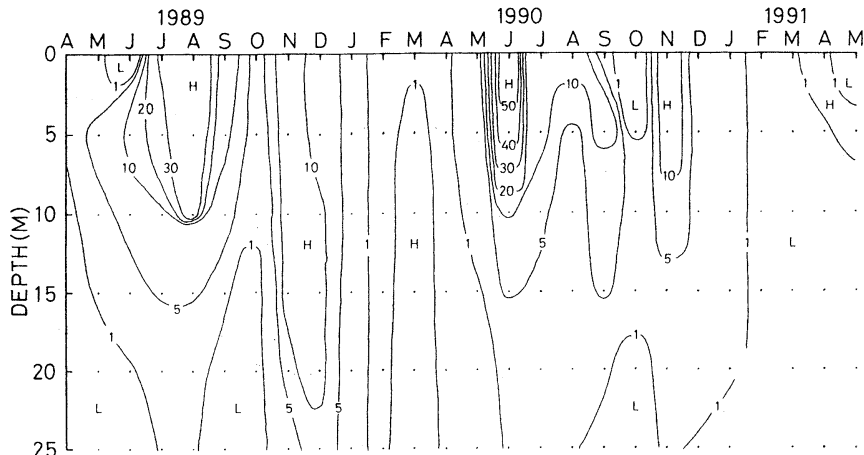


Fig. 26. Nauplius of *Oithona davisae*. Seasonal distribution in vertical section. Values are  $\times 10^2$  INDS/L.

一般にいずれの海域においても微小動物プランクトンとして重要な生物群は、繊毛虫類と橈脚類ノープリウスであり(谷口, 1975), 東京湾においても同様である。しかし, 通常, 有鐘繊毛虫類の5~10倍出現すると言われる無殻繊毛虫類は(谷口, 1989), 20  $\mu\text{m}$ 以上のサイズで比較する限りでは少なく, 有鐘繊毛虫類の約4分の1以下であった。東京湾に出現する微小動物プランクトン中, 最も重要なのは有鐘繊毛虫類であるといえる。

有鐘繊毛虫類の約70%(2239個体/L)は *Amphorellopsis acuta*, *Helicostomella fusiformis*, *H. longa* の3種, 無殻繊毛虫類の約60%(423個体/L)は *Tiarina fusus*, 橈脚類ノープリウスの約90%(501個体/L)は *Oithona davisae* により, それぞれ占められており, これら5種で全体の68%となる。このことは東京湾に出現する微小動物プランクトン群集が極めて単純な組成であることを示している。

#### 4.2. 出現密度及び鉛直分布の経月変化

微小動物プランクトンが多産するのは5月から7月及び11月であった。この5月から11月の間, 各生物群の出現のピークは, それぞれ異なった月にみられた(Fig. 2)。繊毛虫類の増殖が餌となるナノサイズのプランクトンの多寡に因ることは多くの海域で知られている(CAPRIULO and CARPENTER, 1983; VERITY, 1986; PARANJAPPE, 1990)。東京湾の有鐘繊毛虫類のロリカの口径は約20  $\mu\text{m}$ に集中しており, 1992年4月から11月には, このサイズの有鐘繊毛虫類が全体の約72%であった(竹井, 未発表)。有鐘繊毛虫類の捕食する餌サイズは, ロリカの口径の43%といわれ(SPITTLER, 1973; HEINBOCKEL, 1978), この事から主要な餌は8  $\mu\text{m}$ 前後のナノプランクトンと考えられる。東京湾では晩春から夏季にかけて, *Heterosigma akashiwo* や *Cryptomonas/Chroomonas* spp. 等の微細藻類が多く出現し(HAN, 1988; 佐藤・小川, 1988), 微小動物プランクトンの増減はこれらに対応していると思われる。

微小動物プランクトンの鉛直分布は, 有鐘繊毛虫類が比較的表層近くに, 無殻繊毛虫類や橈脚類ノープリウスなどが主に中層に分布し, 動物群によって分布深度はやや異なっている。しかし, これらの微小動物プランクトンの分布中心はいずれも混合層内にみられ, 経月的な鉛直分布の変化は, 混合層の厚さの変化を反映している。

#### 4.3. 有鐘繊毛虫類の種組成及び出現密度の変遷

過去の報文との比較にあたり, ネット曳きによるものは採用しなかった。採水・濾過によるものは, 濾過時の

目合が異なっており, その幅は20  $\mu\text{m}$ (本研究), 40  $\mu\text{m}$ (鈴木, 1979), 95  $\mu\text{m}$ (下村, 1953)と広い。したがって比較には必ずしも適当とはいえないが, 大まかな傾向を知ることは可能である。下村(1953)が, 1948年8月から1年間, 東京湾中央の表面水を観察した結果では, 有鐘繊毛虫類の主体は *Tintinnopsis* 属であり, 高密度に出現した時期は6月(768個体/L)と10月(8271個体/L)の2回で, 12月から4月には出現しなかった。採水によって1971年から1972年まで調査を行った丸茂ほか(1974)によれば, 本調査海域の表層に出現した主な有鐘繊毛虫は *Codonellopsis morchella*, *Favella taraiakaensis*, *Tintinnopsis beroidea*, *T. tubulosa* であり, *Tintinnopsis* 属2種の出現密度が7000~26000個体/Lと多く, その他の種は100~1000個体/L程度であった。1975年12月から1978年6月まで調査を行った鈴木(1979)によれば, 本観測点で最も多くみられた種は *Amphorellopsis acuta* であり, 次いで *Stenosemella parvicollis* 及び *Helicostomella subulata* であった。本研究で6月から1月に出現した *A. acuta* は, 当時9月から11月にのみ出現した。

有鐘繊毛虫類の出現密度は, 1948年頃から1972年までの約20年間に急増したが, 主な構成者に変化はなく, この期間を通じて *Tintinnopsis* 属が優占した。

1972年以降出現密度に明らかな変化は認められないが, 種組成からみると, 1970年代後半になって, *Amphorellopsis acuta* 等の透明なロリカを持つ種の占める割合が徐々に高くなり, 現在に至っている。ロリカ表面に多くの粒子を付着させる種は沿岸水域の指標種とされ(羽田, 1957), 富栄養化の進んだ水域ではより多くの物質を付着させる傾向がある(GOLD and MORALES, 1976)。しかし, 東京湾では, 前述した透明なロリカを持つ4種が, 有鐘繊毛虫類の約72%を占めており, 羽田(1957)やGOLD and MORALES(1976)の結果とは異なっている。1970年代後半から粒子を付着しない種が卓越するようになった理由は明らかではない。

## 5. おわりに

過去の知見との比較によって, 微小動物プランクトンの出現密度が, 1950年代頃から1970年代までの間に急激に増加したこと, そしてそれ以降, 種組成に変化を生じ, 現在に至ったことが明らかになった。

村田(1973)は, 1953, 1962, 1972年の植物プランクトン群集を比較し, 1953, 1962年には出現しなかった極く小さな珪藻や微小な有色鞭毛藻類が1972年には多量に

出現していること、山口・有賀(1988)は、植物プランクトン構成種の中で小形の鞭毛藻類の比重が高まっていることをそれぞれ指摘している。一般に富栄養海域では大型の珪藻が多く(PARSONS and TAKAHASHI, 1973)、逆に貧栄養海域では微細藻が多い(FURUYA and MARUMO, 1983)。ところが村田(1973)や山口・有賀(1988)の報告は、既に富栄養海域であった東京湾においては、過度な富栄養化が、微細な藻類の増加を促進したことを示している。そして微小動物プランクトンの増加は、この様な餌環境の変化にともなってきたことを示唆している。

一方、ネットプランクトンについては、1948年夏季には橈脚類中で *Acartia* や *Paracalanus* などの占める比率が高かったのに対し(YAMAZI, 1955)、1970年代初頭には小型橈脚類の *Oithona* や *Microsetella* 主体の群集へと大きく変化した(丸茂・村野, 1973)。さらに、1980年代になって群集に占める *Microsetella* の比率は減少し(穴久保・村野, 1991)、*Oithona* の優占度が高まり、今日もその状態が続いている(野村, 未発表)。この様に、東京湾では富栄養化の進行にともないネットプランクトン中に占める小型種の割合が増加した。東京湾の中・大型動物プランクトンの出現密度は瀬戸内海に比べ低く(野村・村野, 1992)、一方小型橈脚類(*Oithona davisae*)の出現密度ははるかに高い(穴久保・村野, 1991)。このため東京湾では、瀬戸内海と比べ、動物プランクトン群集のサイズ組成が小さい方へと片寄る結果となっている。以上、歴史的な観点からも、また他の内湾域との比較においても、極度に富栄養化が進行した海域では、ネットプランクトン中で小型種が卓越するようになると同時に、微小動物プランクトンの出現密度が極めて高くなることが示された。

なお、本研究では扱わなかった20 $\mu$ mの目合を通り抜けてしまう動物プランクトン(例えば *Mesodinium rubrum*)は、しばしば高密度に出現することが報告されているが(松江, 1935; 佐藤・小川, 1988; 竹井, 未発表)、これらの動物プランクトンの出現状況については今後の研究を待たねばならない。

## 謝 辞

採集にあたり東京水産大学研究練習船青鷹丸磯打勉(現・神鷹丸)、春日功両船長、実習艇ひよどり伊豆哲夫艇長並びに各乗組員の方々には多大なる御助力を頂いた。ここに謹んで深謝の意を表す。

## 文 献

- 穴久保隆・村野正昭(1991): 東京湾における動物プランクトンの季節変化. 東京水産大学研報, **78**, 145-165.
- CAPRIULO, G. M. and E. J. CARPENTER (1983): Abundance, species composition and feeding impact of tintinnid micro-zooplankton in central Long Island Sound. Mar. Ecol. Prog. Ser., **10**, 277-288.
- FURUYA, K. and R. MARUMO (1983): Size distribution of phytoplankton in the western Pacific Ocean and adjacent waters in summer. Bull. Plankton Soc. Japan, **30**, 21-32.
- GOLD, K. and E. A. MOLESRA (1976): Observations on the nature and significance of the particles used by Tintinnida during lorica-building. Trans. Am. microsc. Soc., **95**, 69-72.
- 羽田良禾(1957): 有鐘織毛虫類の指標プランクトンとしての価値. 日本プランクトン研連報, 第5号, 10-12.
- HAN, M.-S. (1988): Studies on the population dynamics and photosynthesis of phytoplankton in Tokyo Bay. Ph. D. Thesis, Univ. Tokyo, 172pp.
- HEINBOKEL, J. F. (1978): Studies on the functional role of tintinnids in the southern California Bight. II. Grazing rates of field populations. Mar. Biol., **47**, 191-197.
- LEBOUR, M. V. (1922): The food of plankton organisms. J. mar. biol. Ass. U.K., **12**, 644-677.
- 丸茂隆三・村野正昭(1973): 東京湾の珪藻プランクトン群集の遷移. うみ, **11**, 70-80.
- 丸茂隆三・佐野昭・村野正昭(1974): 東京湾の珪藻プランクトン群集の遷移-続. うみ, **12**, 145-156.
- 松江吉行(1935): 織毛虫の激増に依って生じたる赤潮. 水産学会報, **6**, 242-243.
- 村野正昭・丸茂隆三・佐野昭・鈴木繁美(1977): 東京湾の有鐘織毛虫に関する研究. 人間の生存にかかわる自然環境に関する基礎的研究(佐々学ほか編), 東京大学出版会, 東京, 168-178.
- 村田靖彦(1973): 東京湾におけるプランクトンの季節的変動. 千葉県内湾水試調査報告, 第14号, 49-60.
- 野村英明・村野正昭(1992): 東京湾における中・大型動物プランクトンの季節的消長. うみ, **30**, 49-56.
- PARANJAPE, M. A. (1990): Microzooplankton herbivory on the Grand Bank (Newfoundland, Canada): a seasonal study. Mar. Biol., **107**, 321-328.
- PARSONS, T. R. and M. TAKAHASHI (1973): Environmental control of phytoplankton cell size. Limnol. Oceanogr., **18**, 511-515.
- 佐野昭(1975): 有鐘織毛虫類の分類. 月刊海洋科学, **7**, 26-33.
- 佐藤正春・小川カホル(1988): 赤潮等プランクトン調査. 千葉県水保研年報(昭和62年度), 25-34.
- 下村敏正(1953): ミクロプランクトンの生産・分布及

- び海況との関係に関する研究, 日水研研報, 第3号, 1-167.
- SPITTLER, P. (1973): Feeding experiments with tintinnids. *Oikos* (Suppl.), **15**, 128-132.
- STOECKER, D.K. and D.A. EGLOFF (1987): Predation by *Acartia tonsa* DANA on planktonic ciliates and rotifers. *J. exp.mar. Biol. Ecol.*, **110**, 53-68.
- STOECKER, D.K., A.E. MICHAELS and L.H. DAVIS (1987a): Grazing by the jellyfish, *Aurelia aurita*, on microplankton. *J. Plankton Res.*, **9**, 901-915.
- STOECKER, D.K., P.G. VERITY, A.E. MICHAELS and L.H. DAVIS (1987b): Feeding by larval and post-larval ctenophores on microzooplankton. *J. Plankton Res.*, **9**, 667-683.
- 鈴木繁美 (1979): 東京湾における有鐘纖毛虫の研究. 東京水産大学大学院修士学位論文, 74pp.
- 谷口旭 (1975): 動物プランクトンの生産生態. 海洋プランクトン (元田茂編), 東海大学出版会, 東京, 117-235.
- 谷口旭 (1989): 微小動物プランクトンの存在. 生物海洋学 (西沢敏編), 恒星社厚生閣, 東京, 27-48.
- 宇野木早苗・岸野元彰 (1977): 東京湾の平均的海況と海水交流. Technical Report, 理化学研究所, 89pp.
- VERITY, P.G. (1986): Growth rates of natural tintinnid populations in Narragansett Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **29**, 117-126.
- WIADNYANA, N.N. and F. RASSOULZADEGAN (1989): Selective feeding of *Acartia clausi* and *Centropages typicus* on microzooplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **53**, 37-45.
- 山口征矢・有賀祐勝 (1988): 東京湾における基礎生産の変遷. 沿岸海洋研究ノート, **25**, 87-95.
- YAMAZI, I. (1955): Plankton investigation in inlet waters along the coast of Japan XVI. The plankton of Tokyo Bay in relation to the water movement. *Publ. Seto mar. biol. Lab.*, **4**, 285-309.