

中海における動物プランクトン, 特に カイアシ類の食性について

大塚 攻¹⁾・大谷修司²⁾・清家 泰³⁾・國井秀伸⁴⁾・西田周平⁵⁾

Feeding habits of zooplankton, in particular, copepods in Lake Naka-umi

Susumu Ohtsuka¹⁾, Shuji Ohtani²⁾, Yasushi Seike³⁾, Hidenobu Kunii⁴⁾
and
Shuhei Nishida⁵⁾

Abstract: Gut contents of five dominant copepods, *Acartia hudsonica*, *A. sinjiensis*, *Eurytemora pacifica*, *Sinocalanus tenellus* and *Oithona davisae*, occurring in the Lake Naka-umi from January to September 1997 were examined with scanning electron microscopy. All the species fed on dominant phytoplankters such as *Prorocentrum minimum*, *Cyclotella* spp., *Thalassiosira* spp., *Skeletonema costatum*, and *Minidiscus comicus*, and rarely on benthic pennate diatoms, suggesting that these species are opportunistic feeders and show little food segregation within the copepod community. In April 1997 a dinoflagellate *Noctiluca scintillans* was blooming, and voraciously fed on *P. minimum*, copepod eggs and zooplankton fecal pellets, which may more or less influence the occurrence of a red tide phytoplankter *P. minimum*, population growth of pelagic copepods, and flux of sinking particles. The feeding ecology of other dominant zooplankters in Lake Naka-umi, such as appendicularians, chaetognaths, cladocerans, mysids, rotifers and veliger larvae, were reviewed.

Key words: zooplankton, copepods, Lake Naka-umi, *Prorocentrum minimum*, *Cyclotella*, *Thalassiosira*, *Noctiluca*

1) 広島大学生物生産学部附属水産実験所

Fisheries Laboratory, Hiroshima University, 5-8-1 Minato-machi, Takehara, Hiroshima 725-0024, JAPAN

2) 島根大学教育学部

Faculty of Education, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504, JAPAN

3) 島根大学総合理工学部

Faculty of Science and Engineering, 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504, JAPAN

4) 島根大学汽水域研究センター

Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504, JAPAN

5) 東京大学海洋研究所

Ocean Research Institute, University of Tokyo, 1-15-1 Minamidai, Nakano, Tokyo 164-8693, JAPAN

はじめに

中海は、1950年代にはスズキ、マハゼ、ヒイラギ、カキ、ヨシエビ、タイワンガザミ、サルボウ、オゴノリなどの水産物の宝庫であり、年間約1万トン以上の水揚げがあったが、1986年ではその10分の1に激減した。この原因の一部として中海本庄工区干拓事業の影響が指摘されている（日本海洋学会海洋環境問題委員会、1996）。

このような漁獲対象物の生産を支える餌としての動植物プランクトンの季節変動はこれまでも島根大学や島根県、鳥取県の水産試験場を中心として調査が行われてきた。また、宍道湖、中海、美保湾の魚類を中心とした食物連鎖は時空間ごとに詳細に研究された（川那部、1969）。最近、中海において赤潮を起こす渦鞭毛藻類 *Prorocentrum minimum* の生態学的研究も活発に研究がなされている（Kondo *et al.*, 1990a, b, c）。しかしながら、動植物プランクトンの相互関係、つまりプランクトン群集内の食物連鎖構造についてはほとんど研究が行われていない。

そこで、本研究では、1997年1～9月に、中海に出現した動物プランクトンで最も優占するカイアシ類（Copepoda）5種、カラヌス目の *Acartia hudsonica*, *A. sinjiensis*, *Eurytemora pacifica*, *Sinocalanus tenellus*, キクロプス目の *Oithona davisae*（國井ほか、1998；大塚ほか、1999）の消化管内容物を走査電子顕微鏡で精査し、その食性を比較した。また、1997年4月に大量発生した夜光虫 *Noctiluca scintillans* の食胞内も同時に観察したので、ここに報告する。その他の動物プランクトンについても、これまでの知見を集約し、中海における動植物プランクトン群集内での食物連鎖構造、生態系における機能を推定する。

材料と方法

今回、消化管内容物を調査したカイアシ類は中海湖心の1定点（St.-4、水深6.7～7.0m）及び補助的に、本庄工区内の2定点（St.-24、水深8.2～9.5m；St.-26、水深1.5～3.8m）において、1997年1月10日、4月8日、7月10日、9月2、3日の昼間、4回の採集で得られた（図1）。なお、本庄工区内の定点から得られたカイアシ類については1997年4月8日、9月2、3日の試料のみを使用した。採集は北原式プランクトンネット（網目0.1mm）を、底から50cm上～表面まで鉛直曳きした。サンプルは直ちに約10%になるように中性ホルマリンで固定した。また、同時に水温、塩

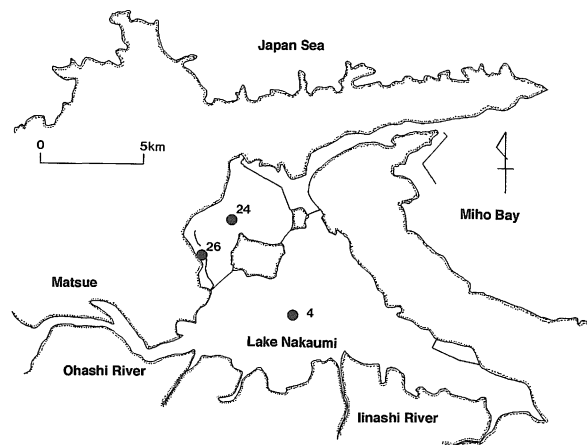


図1. 中海におけるプランクトンの採集定点。

Fig.1. Plankton sampling stations in Lake Naka-umi.

分、溶存酸素をマルチ水質センサー（YSI model 3800）で測定した。

得られたカイアシ類（主に成体雌）の中から、実体顕微鏡下で、消化管に内容物が見られるもののみを抽出し、蒸留水で数時間から一昼夜、脱塩した。使用したカイアシ類の種、性、体長、個体数を表1に示す。実体顕微鏡下で一對の微細柄付き針を用いて消化管を摘出後、消化管を一部裂いて内容物をできるだけ傷つけないように蒸留水中に出した。内容物はミリポアフィルター（Type HA 0.45 μ m）上に吸引ろ過をした後、70、90、99、100%エチルアルコール（各3分）で脱水し、デシケーターの中で一昼夜、乾燥させた。乾燥したフィルターを適当な大きさに切り、両面テープで試料台の上ののせ、イオンスパッター（JEOL JFC-1100）でコーティングをした後、走査型電子顕微鏡（JEOL T-20）で観察を行った。

1997年4月8日に中海で大量発生した夜光虫 *Noctiluca scintillans* の食胞内に、様々な動植物などが見られたので、これも光学顕微鏡で写真撮影を行った。

結 果

水温、塩分、溶存酸素

図2には中海湖心 St.-4 の水温、塩分、溶存酸素の鉛直分布の季節変化を示す。水温は表面と近底層で著しい差は認められず、1月から9月にかけて順次、水温は上昇した。1月には6.1～7.3 $^{\circ}$ C、4月には11.7～12.6 $^{\circ}$ C、7月には22.7～24.5 $^{\circ}$ C、9月には25.9～28.2 $^{\circ}$ Cの範囲であった。

塩分は表面と近底層では顕著な差があり、表面で低く、深度が増すにつれて徐々に高くなり、近底層では最も高い傾向であった。表面では7月に最低の5.9%、

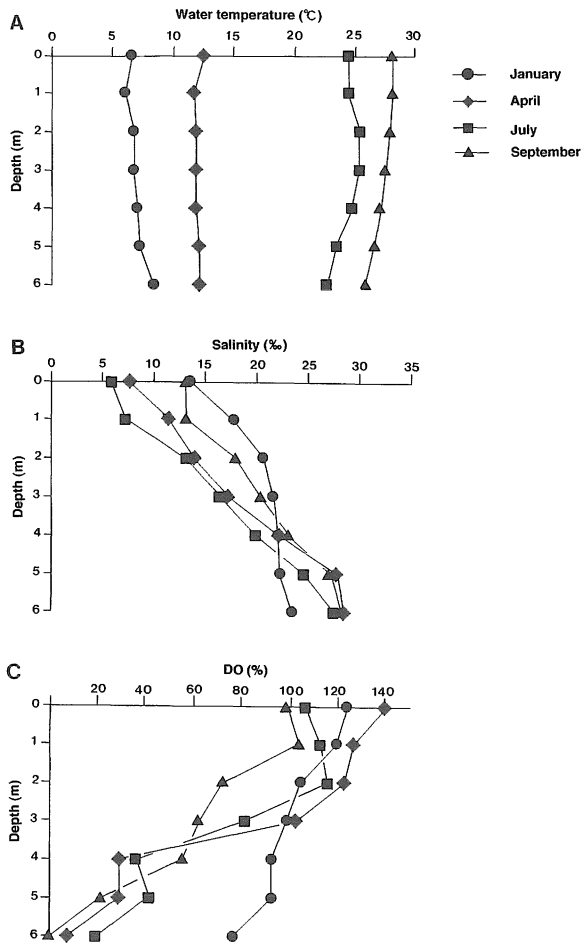


図2. 中海の定点4における水温 (A), 塩分 (B), 溶存酸素 (C) の鉛直分布.

Fig.2. Vertical profiles of water temperature (A), salinity (B) and dissolved oxygen (C) at St.-4 in Lake Naka-umi.

表1. 1997年に中海St.-4, 24, 26において優占した浮遊性カイアシ類5種類の体長，密度．括弧内の数字は消化管内容物調査に使用した個体数.

Table1. Body length and density of adults of five dominant copepods at St.-4, 24, 26 in the Lake Naka-umi in 1997. Number in parentheses means number of individuals examined for gut content analysis.

Species	Density of adults (ind./m ³)											
	10 January			8 April			10 July			2,3 September		
Body length (mm)	St.-4	St.-24	St.-26	St.-4	St.-24	St.-26	St.-4	St.-24	St.-26	St.-4	St.-24	St.-26
<i>Acartia hudsonica</i> ¹⁾ female 0.8-1.2 male 0.7-1.0	4,024 (7)	4,335	550	1,395 (10)	1,397 (9)	8,974	0	0	0	0	0	0
<i>Acartia sinjiensis</i> ¹⁾ female 0.9-1.1 male 0.8-1.0	0	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0	8,965 (13)
<i>Eurytemora pacifica</i> ²⁾ female 1.10-1.26 male 0.92-1.08	0 (9) ⁵⁾	3,121	4,125	279 (6)	140 (1)	289	0	0	0	0	0	0
<i>Sinocalanus tenellus</i> ³⁾ female 1.03-1.45 male 1.03-1.40	0	0	0	186 (8)	140 (1)	868	0	0	0	0	0	498
<i>Oithona davisae</i> ⁴⁾ female 0.49-0.61 male 0.47-0.54	20,569 (7)	26,705	26,813	5,579 (12)	3,841 (6)	10,711	29,714 (10)	26,370	34,955	11,076 (13)	1,621	82,683

Body length from: 1) Ueda (1997); 2) Itoh (1997); 3) Ohtsuka (1997); 4) Nishida (1997).

⁵⁾ Adult specimens were involved in the original sample.

1月に最高の13.5%を記録した。近底層では1月に最低の23.4%，4月に最高の28.5%を記録した。

溶存酸素は季節を問わず，表面近くで高く，深度が増すにつれて徐々に下がり，近底層では低かった。特に4～9月には近底層で著しく低下し，9月には0%となった。表面では99～140%であった。

主要カイアシ類5種の出現状況

表1にはSt.-4, 24, 26におけるカイアシ類成体の密度を示す。*Oithona davisae*は全定点，全採集日において出現が確認された。本種は常に優占し，1m³当たりの密度は3,841～82,683個体に及んだ。一方，他4種は季節的消長が顕著であり，1，4月にのみ*Acartia hudsonica*，*Eurytemora pacifica*が出現し，7，9月にのみ*A. sinjiensis*が出現した。*Sinocalanus tenellus*は4，9月に成体が出現した。これらの密度は*O. davisae*に比較すると低い。

St.-4と本庄工区内のSt.-24, 26の動植物プランクトンの組成はほとんど変わらないことが報告されている(國井ほか, 1998)。

主要カイアシ類5種の消化管内容物

Acartia hudsonica (図3, 4)

1, 4月ともに中心目珪藻*Cyclotella* spp. (図3E, 4A), *Skeletonema costatum* (図4C), 底生性羽状目珪藻類*Nitzschia* spp. (図3G), *Amphora* sp. (図3F), 渦鞭毛藻類*Prorocentrum minimum* (図3B-D, 4)などが検出

された。

特に *P. minimum* は消化管に充満している場合が、1, 4月ともにあった(消化管から検出されたものの長さは12~18 μm であったが、大谷・江角(1996)によれば本種の長さは19~22 μm と報告している。これは電子顕微鏡試料として処理した際に細胞が萎縮したのかもしれない)。この傾向は4月のSt.-4, St.-24いずれにおいても同じであった。珪藻類の一部や *P. minimum* は表面的にはほとんど壊れていない細胞が検出された(図3E-G, 4A-C)。これらのサイズは中心目珪藻 *Cyclotella* spp. で4~9 μm 、羽状目珪藻類では長さ11~22 μm で消化管からほぼ完全な形で検出された。

その他、極めて稀に珪質鞭毛藻類 *Ebria* sp. (図3C) が4月に見られた。

Acartia sinjiensis (図5)

前種同様に、中心目珪藻類 *Thalassiosira tenera* (図5A: 直径約15 μm) や渦鞭毛藻類 *Prorocentrum minimum* (図5A) が検出されたが、特に、後者は頻繁に見られた。

これら以外には直径が5 μm 前後の球形粒子が見られたが、分裂しているような箇所も見られるために、大きさから判断してバクテリア類かもしれない(図5B)。このような球形粒子は他の4種にも見られた。

Eurytemora pacifica (図6, 7)

1, 4月ともに様々な珪藻類、渦鞭毛藻類が見られた。*Acartia hudsonica* 同様に、渦鞭毛藻類の *Prorocentrum minimum* (図6C-E, 7A, B) が頻繁に検出された。1月には渦鞭毛藻類 *Protoperdinium* sp. ? (図6A, B) (最大長35 μm) が見られた。この鞭毛藻類は1月に採集された本種のみから検出された。珪藻類も多く、1月には *Cyclotella* spp. (図6C, D) (直径4~8 μm)、*Neodelphineis pelagica* (図6D)、などの他、様々な中心目、羽状目珪藻が検出された(図6F, G)。4月には *Skeletonema costatum* (図7B) も見られた。

Sinocalanus tenellus (図8)

前3種同様に、渦鞭毛藻類 *Prorocentrum minimum* (図8A, D, E) がSt.-4, 24ともに頻繁に検出された。珪藻類も様々なものが検出され、*Cyclotella choctawhatcheeana* (図8B) (直径12 μm)、*Nitschia* sp. (図8C)、*Thalassiosira pseudonana* (図8D)、*Skeletonema costatum* (図8E) などが見られた。

Oithona davisae (図9, 10)

体長が小さいこともあり(表1)、消化管内容物は少なかった。4月にはSt.-4, 24ともに渦鞭毛藻類 *Prorocentrum minimum* (図9C, D) が検出された。また、St.-4では9月にも検出された(図10D)。他のカイアシ類の消化管内からは外見上ほとんど形の壊れていない細胞が頻繁に検出されたが(たとえば、図6E)、本種では壊れた細胞のみが検出された。珪藻類では、4月に直径約5~6 μm の *Cyclotella* spp. (図9A, B)、直径約7 μm の *Thalassiosira pseudonana* (図9B) やその他の珪藻類破片が、7月には *Skeletonema costatum* (図10A)、*Cyclotella* sp. (図10B)、9月には直径約4 μm の *Minidiscus comicus* (図10C, D) が多く検出された。

1月に関しては、試料作成の間に内容物が紛失したものと思われ、観察できなかった。

ヤコウチュウ *Noctiluca scintillans* の食胞内の観察 (図11)

食胞内には直径約70~80 μm のカイアシ類の卵(図11A: おそらく、直径から判断して *Acartia hudsonica* あるいは *Sinocalanus tenellus* の卵と思われる: Kasahara et al., 1974; Kimoto et al., 1986参照)、カイアシ類の糞粒と思われるもの(図10B)、渦鞭毛藻類 *Prorocentrum minimum* (図10C, D) が頻繁に見られた。特に、後者はほぼすべての *N. scintillans* の食胞内に多量に見られた。

論 議

カイアシ類の摂餌生態

今回、調査をした5種のカイアシ類の天然餌料はこれまでに直接的に研究されたことはほとんどないが、室内実験による、あるいは近縁種の摂餌生態については比較的よく調べられている。一般に、*Acartia* 属は植物プランクトンを主に摂食するが、沿岸域では頻繁に繊毛虫などの微小動物プランクトンを摂餌する(Turner, 1984; Turner and Anderson, 1983; 大塚, 1990; Ohtsuka, 1991; Ohtsuka et al., 1996)。今回、地中海で調査した2種 *A. hudsonica*, *A. sinjiensis* いずれも、珪藻類、渦鞭毛藻類などの植物プランクトンを主食としており、動物プランクトンは検出されなかった。本調査方法では有鐘繊毛虫のロリカ(Ohtsuka, 1991)、下毛類の剛毛などは検出できることが判明しているが(Ohtsuka and Hiromi, 1987)、少なくともこれらを摂食している証拠は得られなかった。また、地中海での微小動物プランクトンの現存量などに関するデータ

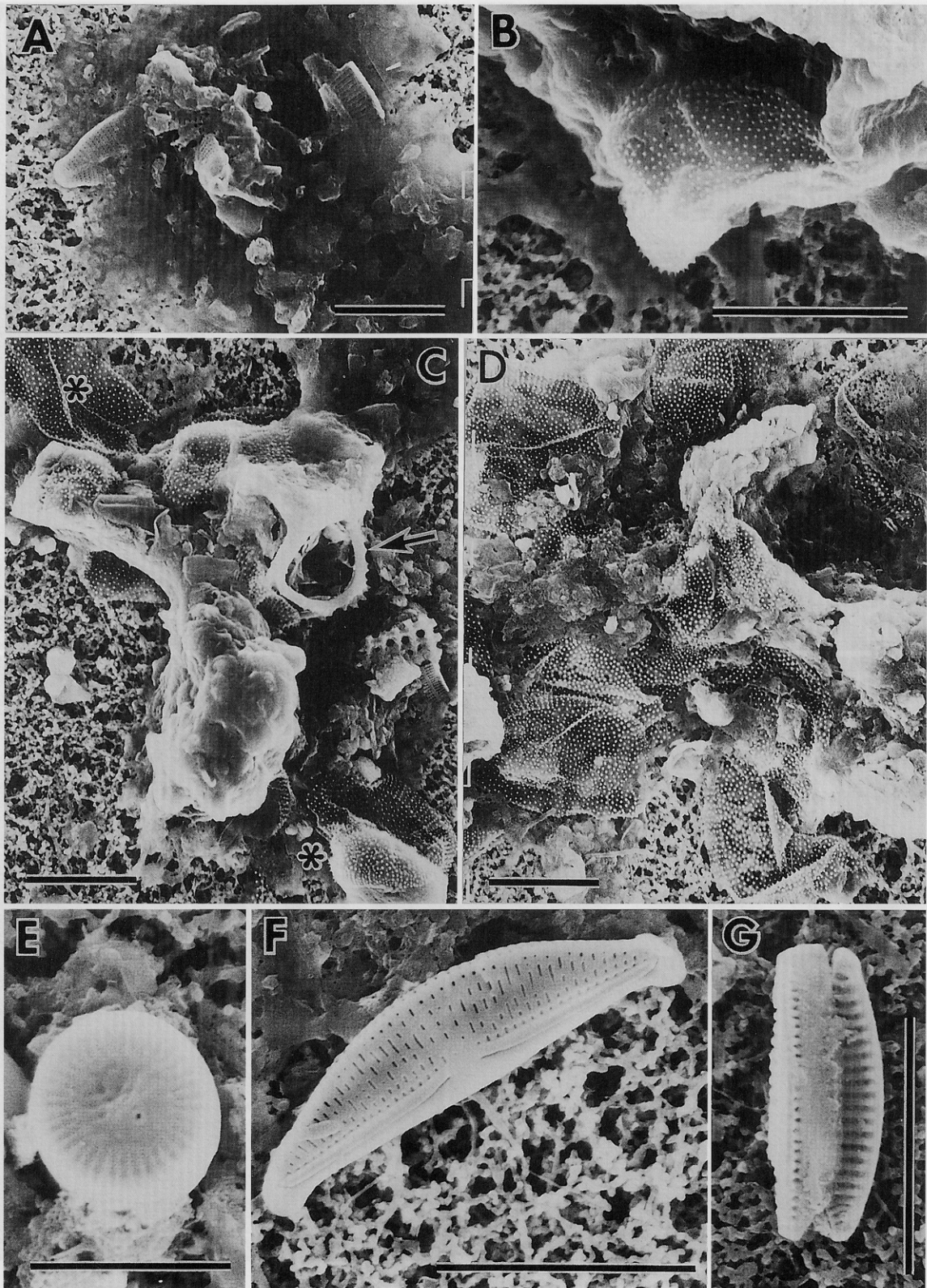


図3. *Acartia hudsonica* (成体雌) の消化管内容物. A-B. St.-4, 1月; C-G. St.-4, 4月. A. *Navicula* sp., B. *Prorocentrum minimum*, C. *P. minimum* (*), *Ebria* sp. (矢印), D. *P. minimum*, E. *Cyclotella* sp., F. *Amphora* sp., G. *Nitschia* sp. スケール: 10 μ m (A-D, F, G), 5 μ m (E).

Fig.3. Gut contents of *Acartia hudsonica* (adult female). A-B. St.-4, January; C-G. St.-4, April. A. *Navicula* sp., B. *Prorocentrum minimum*, C. *P. minimum* (*), *Ebria* sp. (arrowed), D. *P. minimum*, E. *Cyclotella* sp., F. *Amphora* sp., G. *Nitschia* sp. Scales: 10 μ m (A-D, F, G); 5 μ m (E).

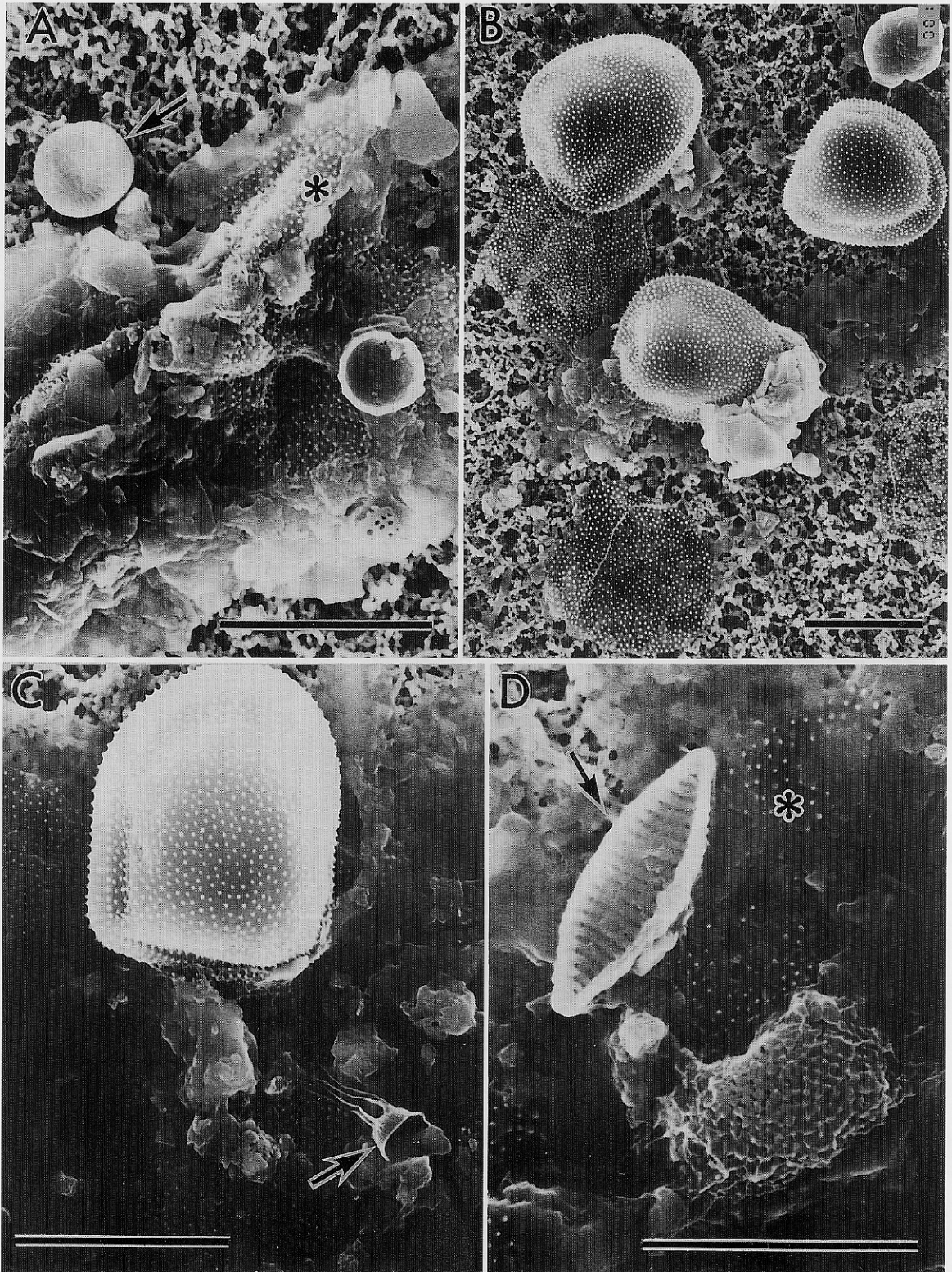


図4. *Acartia hudsonica* (成体雌) の消化管内容物。St.-24, 4月。A. *Prorocentrum minimum* (*), *Cyclotella* sp. (矢印), B. *P. minimum*, C. *P. minimum*, *Skeletonema costatum* (矢印), D. *P. minimum* (*), *Nitschia* sp. (矢印)。スケール: 10 μ m。

Fig.4. Gut contents of *Acartia hudsonica* (adult female). St.-24, April. A. *Prorocentrum minimum* (*), *Cyclotella* sp. (arrowed), B. *P. minimum*, C. *P. minimum*, *Skeletonema costatum* (arrowed), D. *P. minimum* (*), *Nitschia* sp. (arrowed). Scales: 10 μ m.

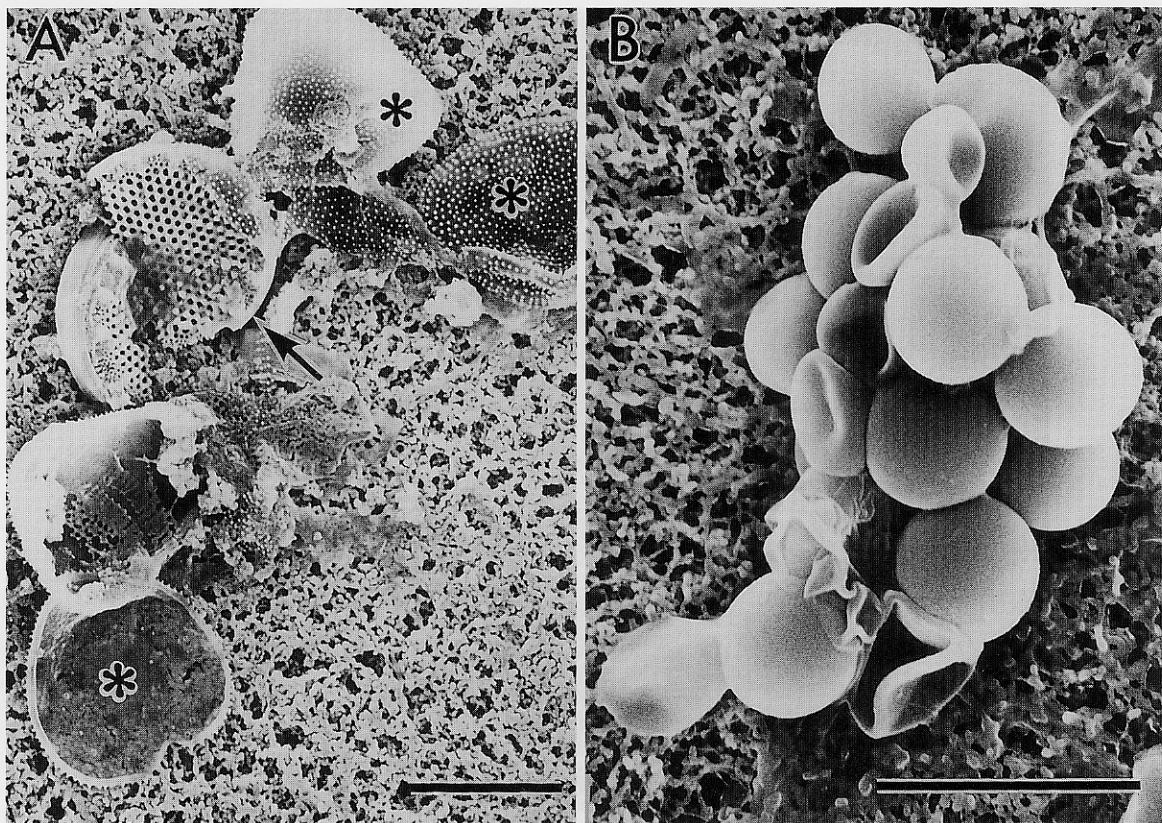


図5. *Acartia sinjiensis* (成体雌) の消化管内容物. St.-26, 9月. A. *Prorocentrum minimum* (*), *Thalassiosira tenera* (矢印), B. Bacteria? スケール: 10µm.

Fig.5. Gut contents of *Acartia sinjiensis* (adult female). St.-24, September. A. *Prorocentrum minimum* (*), *Thalassiosira tenera* (arrowed), B. Bacteria? Scales: 10µm.

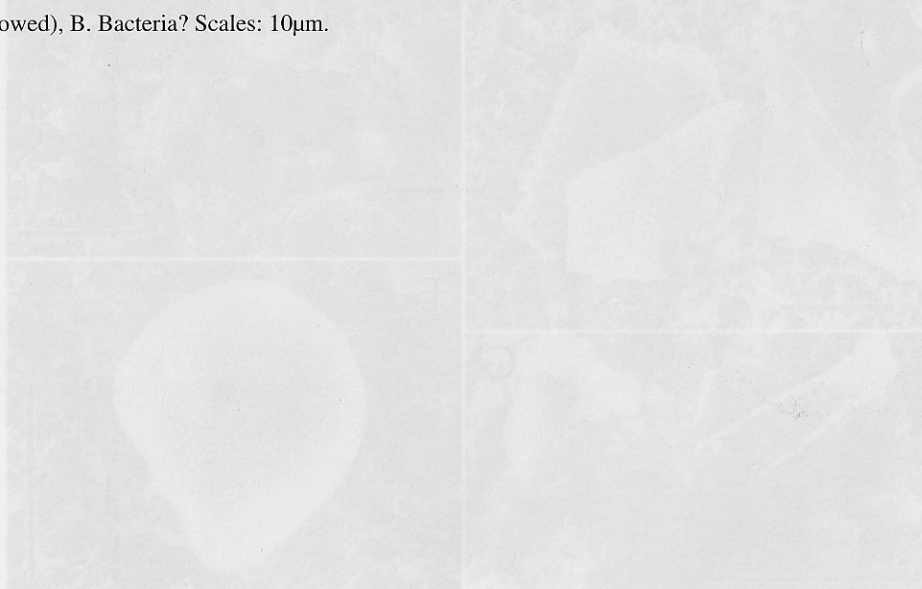


図6. *Eurytemora pacifica* (成体雌) の消化管内容物. St.-4, 1月. A. *B. Prorocentrum minimum* sp. f. *C. Prorocentrum minimum*, *Cyclotella* sp. (矢印), *D. P. minimum* (*), *Cyclotella* sp. (大きな矢印), *Neodolpheidia pelagica* (小さな矢印), *E. P. minimum*, *F. 柱状藻の破片*, *G. Neodolpheidia pelagica*. スケール: 10µm.
 Fig.6. Gut contents of *Eurytemora pacifica* (adult female). St.-4, January. A. *Prorocentrum minimum* sp. f. *C. Prorocentrum minimum*, *D. P. minimum* (*), *Cyclotella* sp. (indicated by large arrow), *Neodolpheidia pelagica* (by small arrow), *E. P. minimum*, *F. Diatom fragments*, *G. Neodolpheidia pelagica*. Scales: 10µm.

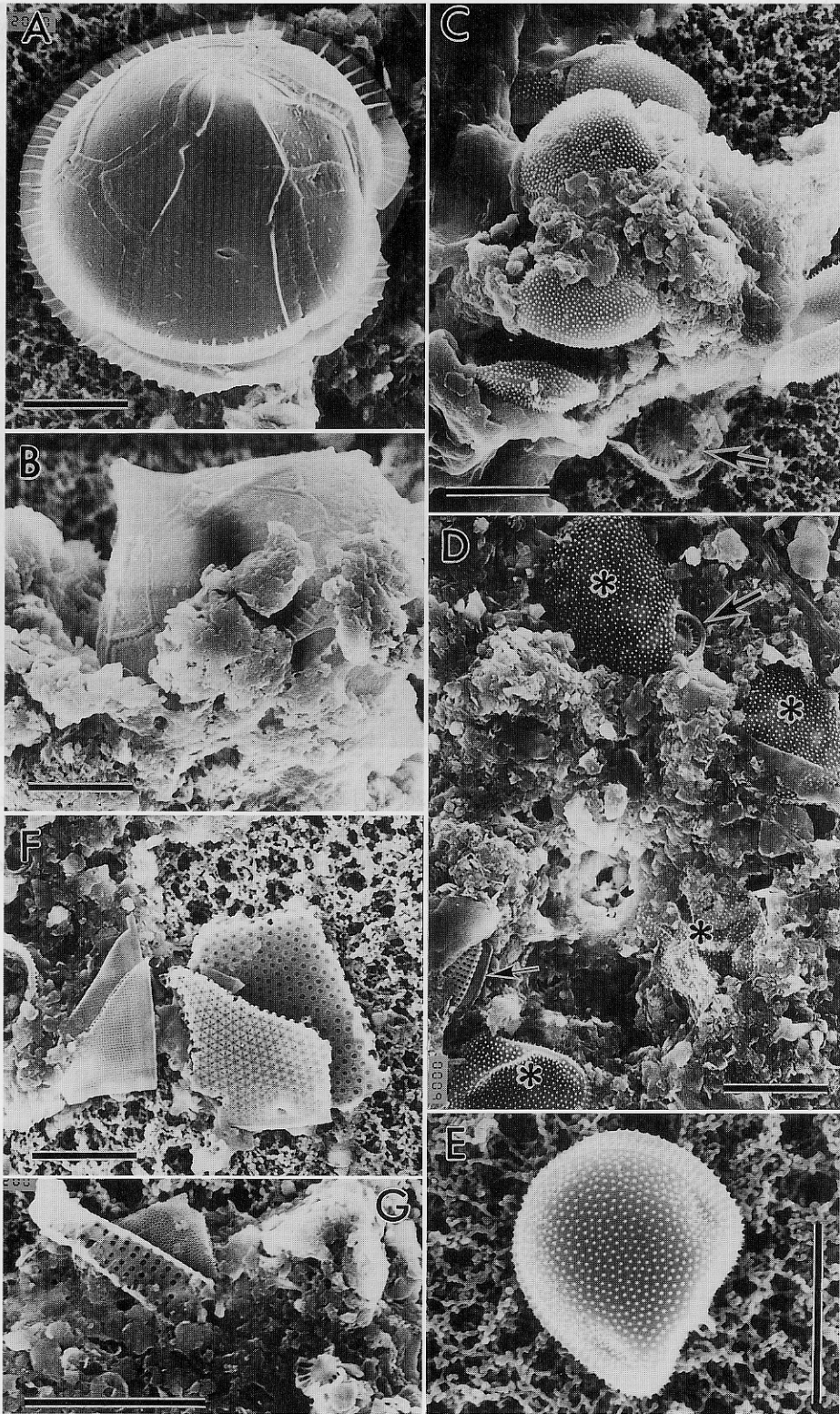


図6. *Eurytemora pacifica* (成体雌) の消化管内容物. St.-4, 1月. A, B. *Protoperidinium* sp.?, C. *Prorocentrum minimum*, *Cyclotella* sp. (矢印), D. *P. minimum* (*), *Cyclotella* sp. (大きい矢印), *Neodelphineis pelagica* (小さい矢印), E. *P. minimum*, F. 珪藻類の破片, G. *Neodelphineis pelagica*. スケール: 10 μ m.

Fig.6. Gut contents of *Eurytemora pacifica* (adult female). St.-4, January. A. *Protoperidinium* sp.?, C. *Prorocentrum minimum*, D. *P. minimum* (*), *Cyclotella* sp. (indicated by large arrow), *Neodelphineis pelagica* (by small arrow), E. *P. minimum*, F. Diatom fragments, G. *Neodelphineis pelagica*. Scales: 10 μ m.

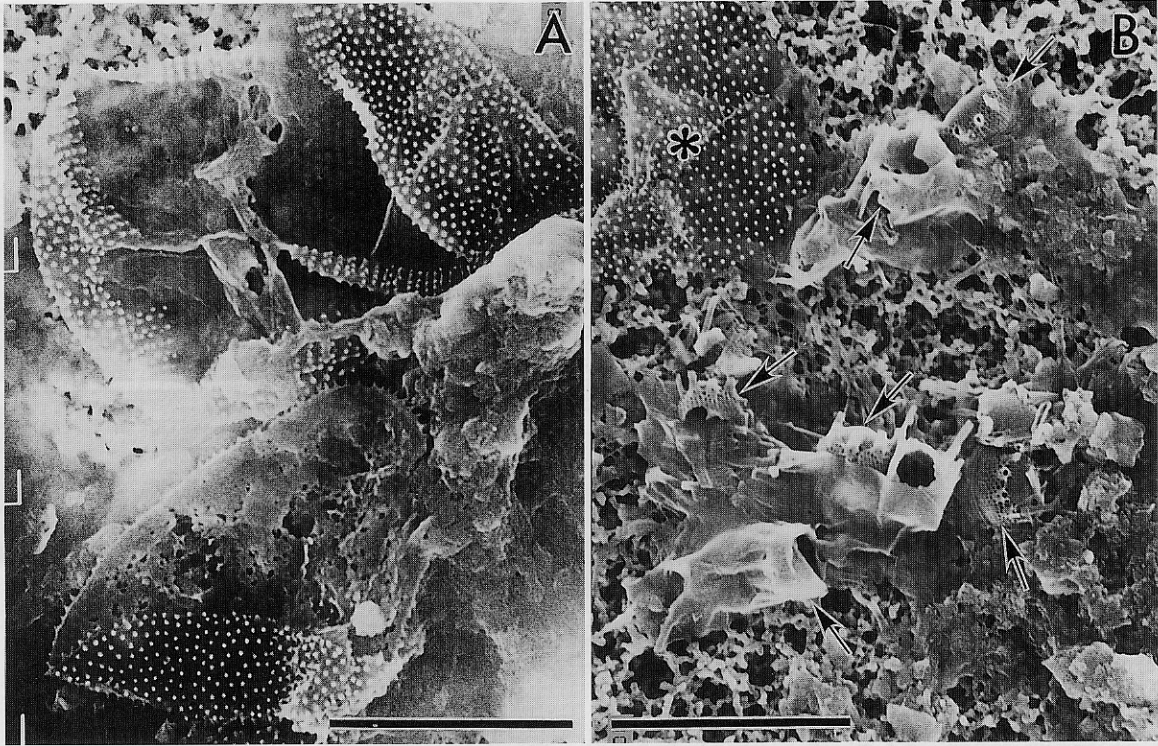


図7. *Eurytemora pacifica* (成体雄)の消化管内容物. St.-24, 4月. A. *Prorocentrum minimum*, B. *P. minimum* (*), *Skeletonema costatum* (矢印). スケール: 10µm.

Fig.7. Gut contents of *Eurytemora pacifica* (adult male). St.-24, April. A. *Prorocentrum minimum*, B. *P. minimum* (*), *Skeletonema costatum* (arrowed). Scales: 10µm.

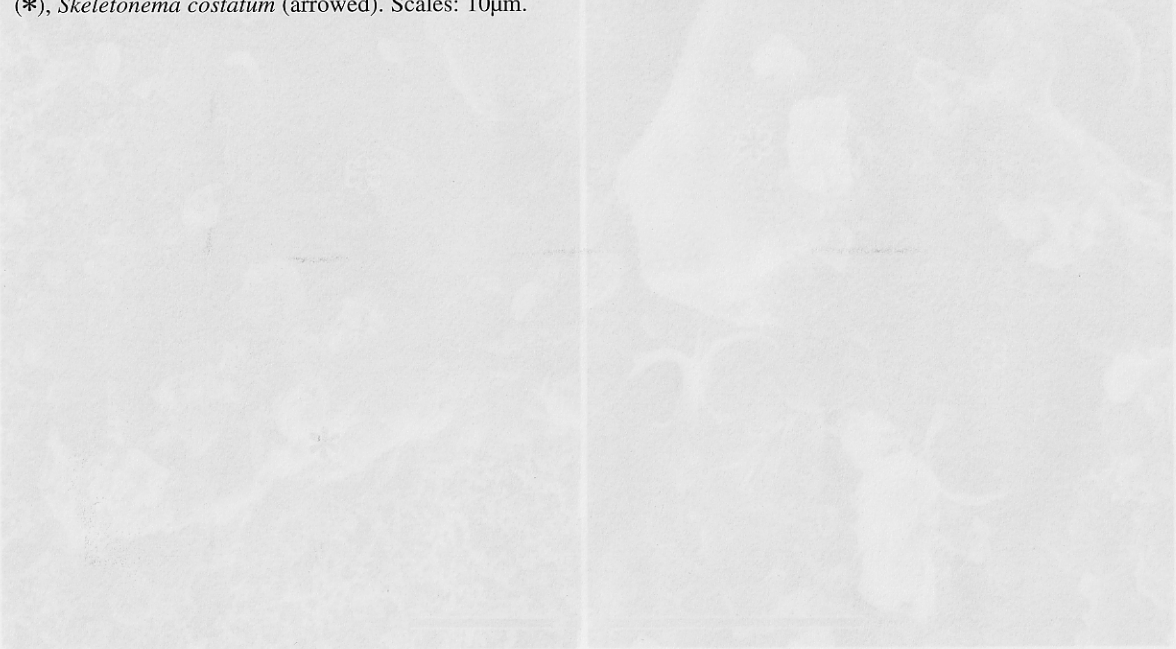


図8. *Zinocleus tenuis* (成体雄)の消化管内容物. A-C St.-4, 4月; D-E St.-24, 4月. A. *Prorocentrum minimum*, B. *Chlorella chlorella*, C. *Nitzschia* sp., D. *P. minimum* (*), *Thalassiosira pseudonana* (矢印), E. *P. minimum* (*), 硅藻断片. スケール: 10µm (A, D, E); 5µm (B, C).
 Fig.8. Gut contents of *Zinocleus tenuis* (adult female). A-C St.-4, April; D-E St.-24, April. A. *Prorocentrum minimum*, B. *Chlorella chlorella*, C. *Nitzschia* sp., D. *P. minimum* (*), *Thalassiosira pseudonana* (arrowed), E. *P. minimum* (*), diatom fragments. Bars: 10µm (A, D, E); 5µm (B, C).

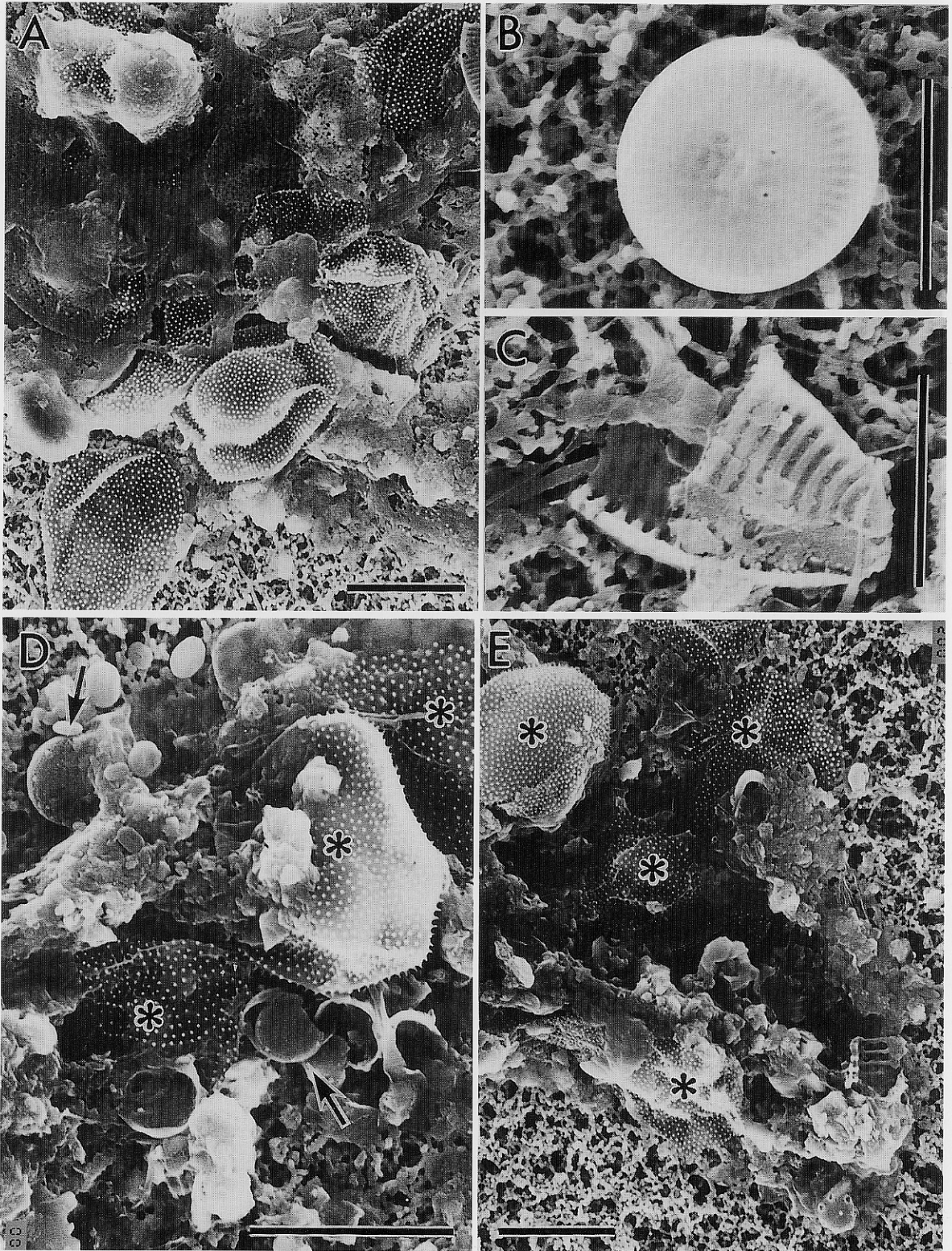


図8. *Sinocalanus tenellus* (成体雌) の消化管内容物。A-C. St.-4, 4月; D, E. St.-24, 4月。A. *Prorocentrum minimum*, B. *Cylotella choctawhatcheeana*, C. *Nitzschia* sp., D. *P. minimum* (*), *Thalassiosira pseudonana* (矢印), E. *P. minimum* (*), 珪藻類破片。スケール: 10 μ m (A, D, E); 5 μ m (B, C)。

Fig.8. Gut contents of *Sinocalanus tenellus* (adult female). A-C. St.-4, April; D, E. St.-24, April. A. *Prorocentrum minimum*, B. *Cylotella choctawhatcheeana*, C. *Nitzschia* sp., D. *P. minimum* (*), *Thalassiosira pseudonana* (arrowed), E. *P. minimum* (*), diatom fragments. Bars: 10 μ m (A, D, E); 5 μ m (B, C).

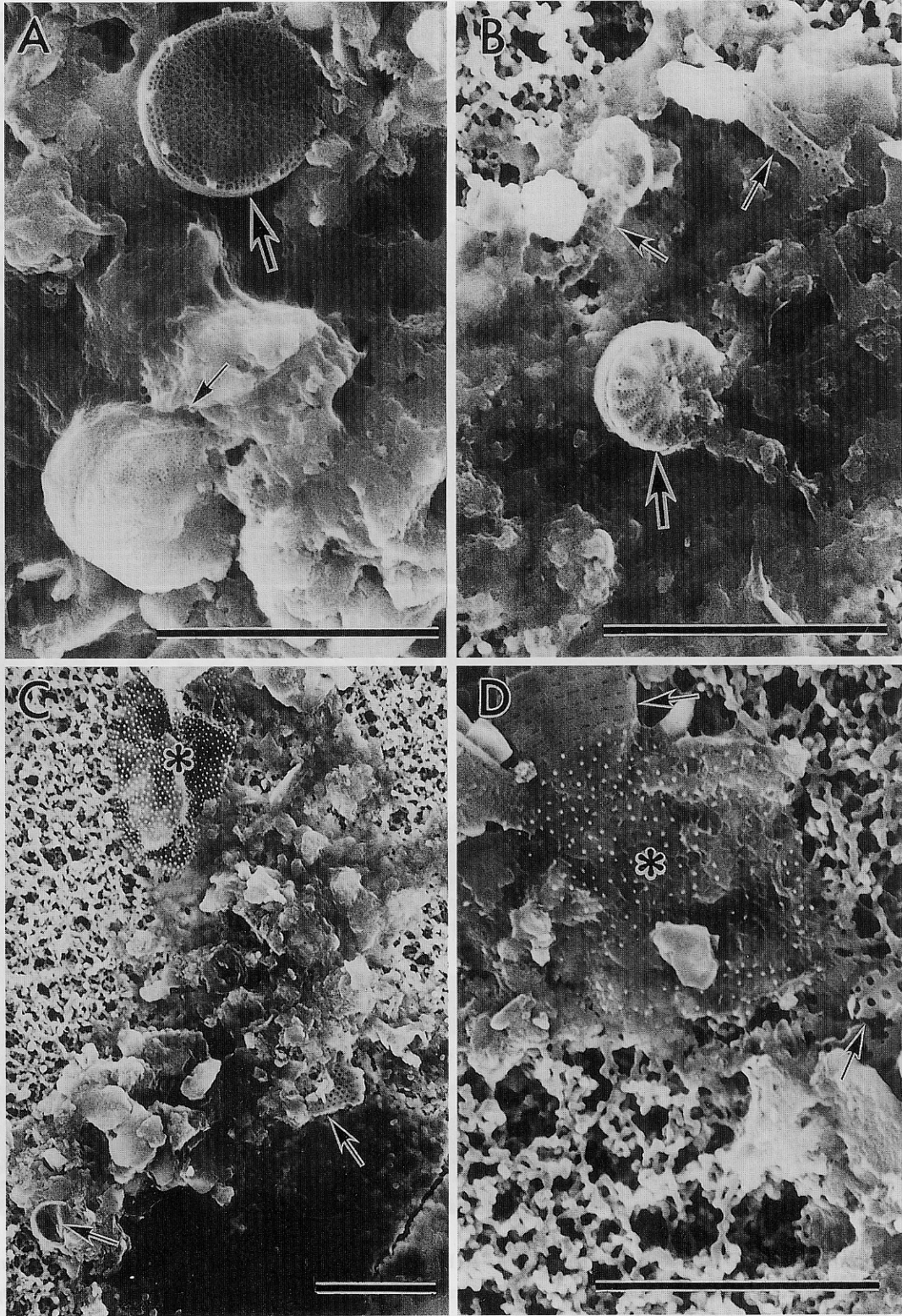


図9. *Oithona davisae* (成体雌) の消化管内容物。A-C. St.-4, 4月; D. St.-24, 4月。A. *Cyclotella* sp. (小さい矢印), *Thalassiosira pseudonana* (大きい矢印), B. *Cyclotella* sp. (大きい矢印), 珪藻類破片 (小さい矢印), C. *Prorocentrum minimum* (*), D. *P. minimum* (*), 珪藻類破片 (矢印)。スケール: 10 μ m。

Fig.9. Gut contents of *Oithona davisae* (adult female). A-C. St.-4, April; D. St.-24, April. A. *Cyclotella* sp. (indicated by small arrow), *Thalassiosira pseudonana* (by large arrow), B. *Cyclotella* sp. (by large arrow), diatom fragments (by small arrow), C. *Prorocentrum minimum* (*), D. *P. minimum* (*), diatom fragments (arrowed). Scales: 10 μ m.

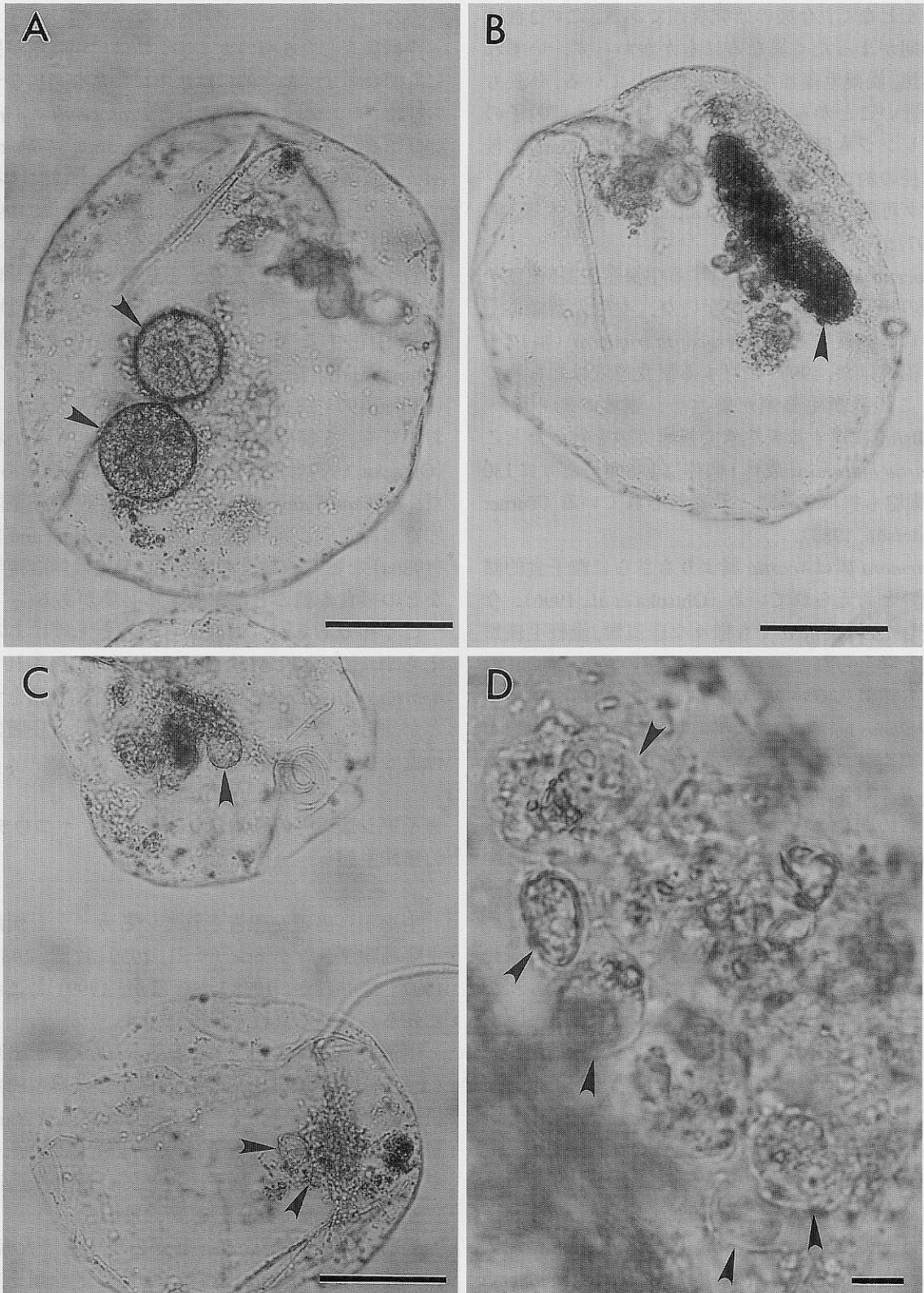


図 11. ヤコウチュウ *Noctiluca scintillans* の食胞内容物。St.-4, 4月。A. カイアシ類の卵 (矢印), B. カイアシ類 (?) の糞粒 (矢印), C. *Prorocentrum minimum* (矢印), D. 食胞内にぎっしり詰まった *P. minimum* (矢印)。スケール: 100µm (A-C); 10µm (D)。

Fig.11. Contents in food vacuoles of *Noctiluca scintillans*. St.-4, April. A. Copepod eggs (arrowed), B. Fecal pellet of copepod (?) (arrowed), C. *Prorocentrum minimum* (arrowed), D. *P. minimum* packed in food vacuole (arrowed). Scale: 100µm (A-C); 10µm (D).

はほとんどなく、今後の研究課題である。この2種は出現時期がまったく異なるにもかかわらず、いずれも珪藻類、渦鞭毛藻類などを主食としている。体長も両種で近いことから(表1参照)、おそらく餌粒子のサイズレンジもほぼ類似すると考えられ、5 μm 前後から体長の約20%の200 μm ぐらいの粒子までがハンドリング可能と考えられる(Ohtsuka, 1991; 大塚・西田, 1997)。

Prorocentrum minimum に対する中海産主要5種カイアシ類の摂食速度は報告がないが、やや大型でよく摂食される渦鞭毛藻類 *Heterocapsa triquetra* (幅17~29 μm ; 福代ほか, 1997) に対する摂食速度は知られている。この渦鞭毛藻類が優占し、密度が約800~2500cells/mlに達する天然水で摂餌実験を行ったところ、*Acartia hudsonica* 成体1個体は1時間当たり130~780細胞も摂取することが報告されている(Turner and Anderson, 1983)。

Eurytemora 属は *Acartia* 属よりもさらに粒子食的傾向が強いと考えられている(Ohtsuka et al., 1996)。今回調査した *E. pacifica* でも様々な珪藻類、渦鞭毛藻類が主食と考えられた。チャクチ海産の *E. herdmanni* の食性とも類似している(Ohtsuka et al., 1996)。

Sinocalanus tenellus は実験室内ではその摂餌生態が詳しく調査されている。本種は珪藻類 *Thalassiosira weissflogii* や鞭毛藻類 *Isochrysis galbana* で培養できるが、自らの卵やノープリウス幼生も盛んに捕食する(Kimoto et al., 1986; Hada, 1991)。Hada (1991) は、本種の広島県福山市にある汽水池での個体群構成が成体に片寄っている理由として、成体による自身の卵や幼生の共食いによる減耗を推測したが、本研究ではこの仮説を積極的に支持する結果は得られなかった。

Oithona davisae の摂餌生態については知見が乏しい。室内実験では、珪藻類は本種の生残及び再生産に適さず、*Heterosigma* などの鞭毛藻類を嗜好するという結果がある(Uchima and Hirano, 1986a)。また、東京湾における詳細な消化管内容物調査でも珪藻類は見い出せなかった(Uchima, 1988)。しかし、今回の結果では、渦鞭毛藻類 *Prorocentrum minimum* に加えて、*Cyclotella* spp., *Minidiscus comicus*, *Skeletonema costatum* などの小型の中心目珪藻類が消化管から検出された。また、本種は実験室内では同種、別種のカイアシ類のノープリウス幼生を、特に飢餓状態が長く続くと捕食することが報告されているが(Uchima and Hirano, 1986b)、本研究では *Sinocalanus tenellus* 同様にノープリウス幼生を捕食している証拠は得られな

かった。

今回調査した5種のカイアシ類は出現時期が異なるにも関わらず、基本的には水中に豊富な適当なサイズの植物プランクトン、渦鞭毛藻類 *Prorocentrum minimum*、珪藻類 *Cyclotella* spp., *Thalassiosira* spp., *Skeletonema costatum*, *Minidiscus comicus* など(中海における植物プランクトンの組成に関してはKondo et al., 1990a; 大谷, 1997, 1998を参照)を摂取すると考えられる。様々な沿岸域において、共存する複数のカイアシ類の間で食い分け現象などは見られず、いずれも現場に豊富に存在する適当なサイズの粒子を摂取する opportunistic feeding をする現象が報告されている(Poulet, 1978; Turner, 1991)。中海のような汽水域においても、5種の口器構造は異なるにもかかわらず(Ohtsuka, 1991参照)、こうした現象は明瞭である。ただ、*Oithona davisae* は5~20 μm 程度の小型藻類に片寄った傾向が見られる。また、Uchima and Hirano (1986a)などの結果を考慮して、今後は無殻鞭毛藻類などの摂食も種ごとに確認する必要がある。

ごく稀であるが、湖底からの巻き上げによると考えられる底生性羽状目珪藻類も検出されたが、*Acartia sinjiensis* などは顕著な日周鉛直移動をすることが知られており(Kimoto et al., 1988)、昼間に湖底付近で摂取した可能性もある。

カイアシ類以外の動物プランクトン、ヤコウチュウの摂餌生態

中海から出現が報告されているカイアシ類以外の主要動物プランクトン(千田, 1959; 片岡, 1965; 上, 1997; 國井ほか, 1998; 大塚ほか, 1999)とこれまでに知られている食性を以下に示す。

中海では、尾虫類は *Oikopleura dioica* が出現する(上, 1997; 大塚ほか, 1999)。尾虫類は典型的なる過摂食者で主にナノプランクトンサイズ(<20 μm)の粒子を摂食するが、本種は0.1 μm 以下の粒子も摂取でき、2~15 μm の粒子に対しては最大ろ過速度は12.5ml/animal/hである(志賀, 1984)。

毛顎類では *Sagitta crassa* が出現する(大塚ほか, 1999)。本種は完全な肉食者で、カイアシ類を主に捕食する他、小型個体は繊毛虫などを捕食することも知られる(Nagasawa and Marumo, 1984; 大塚, 1990)。東京湾においては、本種は主に *Oithona davisae* (= *O. aruensis* として)を捕食しており(Nagasawa and Marumo, 1984)、中海においても同種を主に捕食するが、おそらく、他のカイアシ類やワムシ類なども捕食

するだろう。今回の調査でも、本ヤムシは採集されたが、消化管は全て空であった。これは本種の摂食活動が夜間に活発化することと関連していると考えられる (Nagasawa and Marumo, 1984)。また、東京湾では、*O. davisae* 成体と幼体が1リットル当たり1300個体程度の密度の時、本ヤムシは1日1個体当たり約14個体を捕食するにすぎず、カイアシ類個体群への影響は小さいと見積もられている (Nagasawa and Marumo, 1984)。

枝角類では *Evadne tergestina*, *Podon leuckarti*, *P. polyphemoides*, *Penilia avirostris* の4種が中海から報告されている (上, 1997; 大塚ほか, 1999)。瀬戸内海では、いずれの種も35 μ m以下の中心目珪藻類を主に摂取し、その他、渦鞭毛藻類なども摂取することが知られている (Kim et al., 1989a, b)。

中海本庄工区内から、アミ類では *Neomysis japonica*, *N. awatschensis* の2種が確認された (大塚ほか, 1999)。近縁の *N. intermedia* については、その食性が村野 (1963) によって詳しく報告されている。浮遊性、底生性カイアシ類、ワムシ類、珪藻類、デトリタスなど何でも摂食する。また、共食いもする (上, 1997)。

ワムシ類では *Brachionus* 属, *Keratella* 属, *Finlinia* 属の出現が確認されている。これらはバクテリア、微小鞭毛藻類、ナノ植物プランクトンなどの20 μ m以下の粒子を摂食しているという (上, 1997)。

その他は二枚貝のベリジャー幼生 (宍道湖や中海に多産し、夏期に産卵するヤマトシジミ、アサリ、ホトトギスガイなどの幼生と考えられる: 吉田 (1964) を参照) が夏期に多く出現したが (大塚ほか, 1999)、これらは珪藻類、鞭毛藻類などの微小藻類を摂取する (宮崎, 1957; 吉田, 1964)。

渦鞭毛藻類のヤコウチュウ *Noctiluca scintillans* は動物植物を摂食することは古くから知られていた (Enomoto, 1956)。中海における本種の食性はこれまでのところ報告がない。中海では、カイアシ類の卵を頻繁に捕食しており、カイアシ類の中でも卵を水中に産み放つ種 (*Acartia* spp., *Sinocalanus tenellus*) の再生産には少なからず影響を及ぼすことが予想される。また、カイアシ類などの動物プランクトンの糞粒も摂食することで、湖底への物質沈降への影響も今後、見積りが必要であろう。さらに、中海において優占する鞭毛藻類 *Prorocentrum minimum* を盛んに摂食しており、カイアシ類との餌をめぐる競争など、今後、本種の摂食圧を定量的に研究する必要性がある。ヤコウチュウの中海における出現状況はこれまで十分に調査されていない。岸岡 (1965) によれば、

1953年ころまでは中海で9月ころに出現したが、1964年には殆ど見ることができなくなったという。また、大谷・江角 (1996) の中海の植物プランクトンの出現状況を細かく報告した文献にも掲載されていない。したがって、1964年ころ以降は、突発的に短期間、中海に出現している可能性がある。

1976年に瀬戸内海広島湾において、鞭毛藻類 *Heterosigma inlandica* が優占する赤潮が発生した時にも、ヤコウチュウが混在し、これを摂食したことが報告されている (高山, 1977)。実験室内ではヤコウチュウ1細胞1日当たり数百細胞の *H. inlandica* を摂食すると推定されている (高山, 1977)。

中海に産する主要な動物プランクトンの食性や生息密度を考慮すると、この水域のプランクトン群集内において比較的単純な生食食物連鎖 (grazing food chain) が存在し、栄養段階も2つあるいは3ほどは認められる。しかし、季節的消長が動植物プランクトンともに顕著であり、その構造はダイナミックに変化すると考えられる。これまでのプランクトン調査では近底層に生息し、動植物プランクトン、デトリタスを摂食するアミ類の定量採集が行われていないので、食物連鎖におけるエネルギーの主要な流れを把握するためにはアミ類の現存量、生産速度などを調査する必要がある。尾虫類、ワムシ類などのバクテリアサイズの粒子を摂取できる動物の出現が認められる時期には microbial loop と生食食物連鎖が同時に存在する。

謝辞: 本研究を遂行するにあたり、島根大学汽水域研究センターのスタッフの方々にはお世話になり、お礼申し上げます。中海本庄工区内で採集されたアミ類は越川敏樹氏より供与いただいたので、記して感謝したい。

本研究の一部は文部省科学研究補助金 (課題番号 09480122, 10660180) 及び第7期プロ・ナトゥーラ・ファンダ助成金の助成を受けて行われた。

文 献

- Enomoto, Y. (1956) On the occurrence and the food of *Noctiluca scintillans* (Macartney) in the waters adjacent to the west coast of Kyushu, with special reference to the possibility of the damage caused to the fish eggs by that plankton. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 22: 82-88.
- Hada, A. (1991) Effect of cannibalism on laboratory cultured population of the brackish copepod *Sinocalanus tenellus*.

- Bull. Plankton Soc. Japan*, 38: 43-52.
- 福代康夫・井上博明・高山晴義 (1997) 渦鞭毛植物門。
In: 日本産海洋動物プランクトン検索図説。(編) 千原光雄・村野正昭。pp.31-112. 東海大学出版会, 東京。
- 伊東宏 (1997) Family Temoridae テモラ科。In: 日本産海洋動物プランクトン検索図説。(編) 千原光雄・村野正昭。pp.916-919. 東海大学出版会, 東京。
- Kasahara, S., Uye, S. and Onbé, T. (1974) Calanoid copepod eggs in sea-bottom muds. *Mar. Biol.*, 26: 167-171.
- 川那部浩哉 (1969) 川と湖の魚たち。中央公論社, 東京, 196pp.
- Kim, S.W., Onbé, T. and Yoon, Y.H. (1989a) Feeding habits of marine cladocerans in the Inland Sea of Japan. *Mar. Biol.*, 100: 313-318.
- Kim, S.W., Yoon, Y.H., Onbé, T. and Endo, T. (1989b) Is grazing of marine cladocerans important for the occurrence of red tide? In: *Red tides: biology, environmental science, and toxicology*. (eds.) Okaichi, T., D.M. Anderson and Nemoto, T. pp. 261-264. Elsevier Science Publishing Co., Inc., New York.
- Kimoto, K., Nakashima, J. and Morioka, Y. (1988) Direct observations of copepod swarm in a small inlet of Kyushu, Japan. *Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab.*, 66:41-58.
- Kimoto, K., Uye, S-I. and Onbé, T. (1986) Egg production a brackishcalanoid copepod *Sinocalanus tenellus* in relation to foodabundance and temperature. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 33: 133-145.
- 岸岡務 (1965) 中海と赤潮。米子市立弓ヶ浜中学校科学部, 米子, 206p.
- Kondo, K., Seike, Y. and Date, Y. (1990a) Red tides in the brackish Lake Nakaumi (I). The frequency and causative species of red tides. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 36:103-110.
- Kondo, K., Seike, Y. and Date, Y. (1990b) Red tides in the brackish Lake Nakaumi (II). Relationships between the occurrence of *Prorocentrum minimum* red tide and environmental conditions. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 37:19-34.
- Kondo, K., Seike, Y. and Date, Y. (1990c) Red tides in the brackish Lake Nakaumi (III). The stimulative effects of organic substances in the interstitial water of bottom sediments and in the extreta from *Skeletonema costatum* on the growth of *Prorocentrum minimum*. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 37: 35-47.
- 國井秀伸・高安克己・大谷修司・清家泰・星川和夫・越川俊樹・大塚攻・神谷要・矢部徹 (1998) 中本庄工区の種多様性に関する調査。第7期プロ・ナトゥーラ・ファンド助成成果報告書, 23-29.
- 宮崎一老 (1957) 二枚貝とその養殖。いさな書房, 東京, 158p.
- 村野正昭 (1963) イサザアミ, *Neomysis intermedia* Czerniawskyの漁業生物学的研究 II. 食性について。水産増殖, 11: 159-165.
- Nagasawa, S. and Marumo, R. (1984) Feeding habits and copulation of the chaetognath *Sagitta crassa*. *La mer*, 22: 8-14.
- 日本海洋学会海洋環境問題委員会 (1996) 閉鎖性水域の環境影響評価に関する見解—中海本庄工区干拓事業の場合—。海の研究, 5: 333-344.
- 西田周平 (1997) Order Cyclopoida キクロプス目。In: 日本産海洋動物プランクトン検索図説。(編) 千原光雄・村野正昭。pp.935-951. 東海大学出版会, 東京。
- 大谷修司 (1997) 宍道湖・中海水系の植物プランクトンの種類組成と経年変化。沿岸海洋研究, 35: 35-47.
- 大谷修司 (1998) 汽水湖における微小珪藻類の分類学的研究。平成8年度～平成9年度科学研究補助金(基盤研究(C)(2)) 研究成果報告書。67pp. 島根大学教育学部, 松江。
- 大谷修司・江角比出郎編 (1996) 宍道湖・中海水系の藻類。宍道湖・中海の藻類研究会, 松江, 129pp.
- 大塚攻 (1990) カイアシ類による微小動物プランクトンの捕食。月刊海洋, 2: 45-52.
- Ohtsuka, S. (1991) Structure and function of the mouthparts of calanoid copepods of the Seto Inland Sea and its environs, with special reference to their in-situ feeding habits. PhD. Thesis. pp.1-259. University of Tokyo, Tokyo.
- 大塚攻 (1997) Family Centropagidae セントロパジェス科。In: 日本産海洋動物プランクトン検索図説。(編) 千原光雄・村野正昭。pp.765-774. 東海大学出版会, 東京。
- Ohtsuka, S. and Hiromi, J. (1987) Calanoid copepods collected from the near-bottom in Tanabe Bay on the coast of the middle Honshu, Japan. III. Stephidae. *Publ. Seto Mar. Biol Lab*, 32: 219-232.
- 大塚攻・星名照美・清家泰・大谷修司・國井秀伸 (1999) 中海本庄工区内外における動物プランクトン群集の季節変動。LAGUNA (汽水域研究), 6: 73-87.
- 大塚攻・西田周平 (1997) 海産浮遊性カイアシ類 (甲

- 殻類)の食性再考. 海の研究, 6: 299-320.
- Ohtuska, S., Shimozu, M., Tanimura, A., Fukuchi, M., Hattori, H., Sasaki, H. and Matsuda, O. (1996) Relationships between mouthpart structures and *in situ* feeding habits of five neritic calanoid copepods in the Chukuchi and northern Bering Seas in October 1988. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.*, 9: 153-168.
- Poulet, S.A. (1978) Comparison between five coexisting species of marine copepods feeding on naturally occurring particulate matter. *Limnol. Oceanogr.*, 23: 1126-1143.
- 千田哲資 (1959) プランクトン, In: 中海干拓基本調査書, pp. 105-137. 鳥取県水産試験場.
- 志賀直信 (1984) 最近 10 年間の尾虫類の生態学的知見. 日本プランクトン学会報, 創立30周年記念号: 81-86.
- 高山晴義 (1977) ヤコウチュウ *Noctilucas cintillans* (MACARTNEY) の培養と観察. 日本プランクトン学会報, 24: 83-86.
- Turner, J. T. (1984) Zooplankton feeding ecology: contents of fecal pellets of the copepods *Acartia tonsa* and *Labidocera aestiva* from continental shelf waters near the mouth of the Mississippi River. *P. S. Z. N. I.: Mar. Ecol.*, 5: 265-282.
- Turner, J.T. (1991) Zooplankton feeding ecology: do co-occurring copepods compete for the same food? *Rev. Aqu. Sci.*, 5: 101-195.
- Turner, J.T. and Anderson, D.M. (1983) Zooplankton grazing during dinoflagellate blooms in a Cape Cod embayment, with observations of predation upon tintinnids by copepods. *P. S. Z. N. I.: Mar. Ecol.*, 4: 359-374.
- Uchima, M. (1988) Gut content analysis of neritic copepods *Acartia omorii* and *Oithona davisae* by a new method. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 48: 93-97.
- Uchima, M. and Hirano, R. (1986a) Food of *Oithona davisae* (Copepoda: Cyclopoida) and the effect of food concentration at first feeding on the larval growth. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 33: 21-28.
- Uchima, M. and Hirano, R. (1986b) Predation and cannibalism in neritic copepods. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 33: 147-149.
- 上真一 (1997) 汽水域における動物プランクトンの特徴. 沿岸海洋研究, 35: 49-55.
- 上田拓史 (1997) Family Acartiidae アカルチア科. In: 日本産海洋動物プランクトン検索図説. (編) 千原光雄・村野正昭. pp.669-680. 東海大学出版会, 東京.
- 吉田裕 (1967) 貝類種苗学. 北隆館, 東京, 221p.