

海産汚損付着生物の防除ならびに有効利用に関する研究

Studies on the prevention and the utilization of marine fouling organisms

代表研究者	東京大学海洋研究所教授 Prof., Ocean Research Institute, Univ. of Tokyo Takeshi KAJIHARA	梶原 武
協同研究者	東京大学農学部教授 Prof., Faculty of Agriculture, Univ. of Tokyo Reijiro HIRANO	平野 礼次郎
	東京大学農学部助教授 Assoc. Prof., Faculty of Agriculture, Univ. of Tokyo Yoshihachiro NIMURA	二村 義八朗
	北里大学水産学部教授 Prof., School of Fisheries Sciences, Kitasato Univ. Jiro KITAKA	橋 高二郎
	長崎大学水産学部教授 Prof., Faculty of Fisheries, Nagasaki Univ. Kazutsugu HIRAYAMA	平山 和次
	長崎大学水産学部講師 Lecturer, Faculty of Fisheries, Nagasaki Univ. Hitoshi KITAMURA	北村 等
	海洋科学技術センター研究副主幹 Assist. Senior Scientist, Japan Marine Science and Tech. Center Nobuo IRO	伊藤 信夫

The fouling fauna has increased recently in aquaculture farms, harbors and coastal waters around the seaside factories with increasing number of marine structures. Applying antifouling paints to these structures under sea-water is not recommendable, because the metals toxic to the fouler may give rise to a serious trouble to water quality and fisheries resources in closed waters. Therefore, biological control methods of marine fouler will play an important role in their prevention. In this study to obtain the fundamental data on the prevention and the utilization of marine fouling organisms, the distributions, assemblage constructions, attaching mechanisms, life history and utilization method of micro/macro fouler were observed and analysed in the laboratory and field.

1) Food and early life history of *Bugula neritina*: The young colonies of a bryozoan, *Bugula neritina* were reared in the laboratory in small containers and fed 24 species living diatoms under the conditions of 21–23°C in sea water temperature and 32.5–34.2‰ in salinity. The most favorable species of diatoms as food for a good growth of the young bryozoan was *Rhodomonas* sp. (Cryptophyceae), followed by *Oxyrrhis marina* (Dinophyceae). The feeding condition of 10,000 cells per ml of sea water in density of *Rhodomonas* on the young bryozoan colonies in the laboratory results in almost the same growth rate and color as those which are found in the natural environment.

Attaching mechanism of macrofouling: Larvae of the cosmopolitan fouling bryozoan *Bugula neritina* were offered various substrata for attachment. Plates of polyvinylchloride, polyethyl-

ene and glass slides with various surface textures were offered, and glass slides were offered after formation of primary films consisting of attaching diatoms, bacteria and adsorbed material in the sea. Many more larvae attached to plastics compared with glass. Primary films made glass attractive and there was a linear correlation between the attachment preference and density of diatoms in primary films.

2) Epibenthic Diatom: Seasonal change in the epibenthic diatoms was surveyed at Aburatsubo Inlet, Kanagawa Prefecture. The diatoms on glass plates were more abundant in spring and in autumn. Types of attachment were classified into seven. SEM observation was made to know if the previously formed bacterial film was essential for the attachment of diatoms to substrata. Since the number of diatoms of the sterile glass plates was same to the number of those on previously coated with bacteria, and since the photos of attached diatoms without contact to any bacterium were obtained, it is thought that the bacterial film on substrata is not essential for the attachment of diatoms.

3) Reproduction of fouling animals: The fine structure of the spermatozoon of *Balanus amphitrite* was investigated by electron microscopy. The characteristic structures were as mentioned below. The acrosomal region lay at the anterior end of the spermatozoon and rest on the collar from which the anterior part of the axial filaments arose. The nucleus was elongated. Each spermatozoon contained only one mitochondrion lying directly behind the nucleus. One large droplet, in which high electron dense, spherical granule were arranged in a line resembling a broad pea pod, was present parallel to the nucleus.

4) Life history of a parasitic copepod, *Pseudomyicola spinosus*, associated with the marine mussel: We devised rearing method of this copepod keeping in a petri dish from generation to generation under the laboratory conditions. These are six free-swimming nauplius stages and six infective copepodid stages. The nauplius stages do not feed, and the first nauplius take an average 1.8 days to grow into an infective first copepodid. A first copepodid can only survive between 2 to 3 days if it fails to find a host. The sixth copepodid is the adult stage. The morphology and behavior from the first nauplius to the adult have been studied.

Lifespan and oviposition of the parasitic copepod *Pseudomyicola spinosus* under rearing conditions: The facultative parasitic copepod *Pseudomyicola spinosus* was cultured and mated under laboratory conditions. Twenty virgin females were cultured in isolation and mated. They were cultured individually after mating, and examined for lifespan, number of ovipositions, number of eggs, and other features. The longest lifespan of a female *P. spinosus* was 2.3 years (849 d). This female laid eggs 106 times after a single mating, and all of the eggs developed. The lifespan and number of ovipositions varied with the individual, but the interval between ovipositions showed less variation (7.0 ± 2.3 d). The number of eggs laid at one oviposition decreased with the increase in the age of the female. The number of eggs at each oviposition was smaller in laboratory females than in wild females, but the oviposition rhythm and the interval between ovipositions seemed to be the same. The sperms seem to survive for quite a while in the seminal receptacle of a female. A male can copulate a multiple of times. The lifespan of *P. spinosus* in the natural environment should be less than a year, considering the lifespan of the host mussels.

5) Food value of marine fouling organisms in aquaculture: Generally, marine fouling organisms are considered as a negative factor for aquaculture production. Although various methods have been applied to control marine fouling organisms, effective method is not yet established. However, there will be predators on marine fouling organisms in the sea. Once a predator species of commercial importance is introduced in aquaculture and the prey species found in marine fouling organisms, these organisms will be collected and utilized as food. For example, success of penaeid shrimp culture in the southern area of Japan is partly based on the fact that mussels which are not consumed by Japanese, have high nutritional value for marine crustaceans. Also, Atlantic shrimp *Palaemon serratus* have been successfully cultured in experimental tanks.

Small marine crustaceans such as Gammarus and Caprella which are found in aggregation of marine fouling organisms on the materials of culture raft were proved as effective food for Atlantic lobster, *Homarus americanus* and *H. gammarus*. Fourth stage lobsters were communally

cultured in a netting cage installed in Okkirai Bay in northern Japan. The growth and survival were almost the same as in culture tank. One, two and three year old lobsters were individually cultured in lantern-like netting cage immersed from a raft in the bay. Without supplemental feeding, these 3 year classes lobsters molted 3.4, 2.4 and 1.4 times during 6 months period, respectively. The growth rate was better than that in culture tank. Chemical composition of *Gammarus* and *Caprella* was found similar to that of mussels.

研究目的

船底、海水利用冷却系、水産養殖施設などの海中に設置した構造物には種々の海産物が着生する。これらによる産業上の被害は大きく、汚損付着生物ともいわれている。海洋開発が進むにつれて海岸域はもちろん、沖合域においても海中構造物は増加している。海中構造物は付着生物の格好の着生基盤になるので、開発の進んだ海域では付着生物は生態系の主要な一群となっている。

付着生物の防除には、船底防汚塗料のような有毒物質により生物の幼生や成体を排除する方法がある。この方法では環境汚染度の低い長寿命の塗料の開発に努力が向けられているが、幼生の付着機構の不明や、有効に毒物を検定する生物が見いだされていないことが開発のネックになっている。また、長期間設置しておく構造物の養殖施設では塗料による防除は不可能であるので、新しい観点からの防除、すなわち生態的防除方法を検討する必要性が提唱されている。他方、海中構造物と環境海域との調和という点についてみると、特に水産の立場からは、構造物の占有による水産の利用海面・生物生産の減少をいかに補償するかという問題もある。付着生物の有効利用はこの問題の解決に見通しを与えることにもなる。

本研究においては、まず汚損付着として主要な数種類を取り上げ、これらの幼生の付着機構を解明する。次いで大型生物の幼生の付着にはバクテリア・珪藻類により形成される初期フィルムが重要な関連をもっているので、付着珪藻の生理・生態を研究する。また、環境汚染度の判定をも兼ねて毒物効力を検定するための生物の開発を行なう。さらに付着生物の利用として、養殖水産動物の餌料として付着生物を利用する方法を検討する。

研究成果

1. フサコケムシの付着生態

重要付着動物の一種であるフサコケムシ (*Bugula neritina*) の初期群体の室内飼育法の確立を目的とした。飼育法が確立されたならば、本種の成長と水温、塩分などとの関係を詳細に求めることができる。次に本種幼生の付着機構の解明を目的とし、以下の3点について研究した。第1は付着基盤の材質や表面構造と付着選択性との関係を調べた。第2は海に基盤を浸漬すると基盤の表面には初期フィルムが形成されるので、この初期フィルムの成分の内、特に付着珪藻の付着選択性に及ぼす影響を調べた。

1) 初期群体の飼育法

方法：本種の飼育容器には1 l ビーカーを使用し、濾過海水 800 ml を入れた。これに変態直後の群体を収容し、餌料生物を投与して群体の飼育を行なった。飼育する群体数は容器一つ当たりおよそ 10 個体とした。

飼育用の餌料生物には、海洋の植物プランクトンを合計 24 種類用いた。これらの植物プランクトンを単一培養し、これを先ほどのビーカーに培養液ごと 20~30 ml 投与した。各種植物のプランクトンの投与による飼育は数段階の餌料濃度で行なった。

結果：植物プランクトンの種類とそれによる飼育結果とを Table 1 に示す。各々のプランクトンの餌料価値は、群体を 1 個虫より飼育して 10 日目に何個虫に達しているかで判定した。Table 1 に示した値は、数段階の餌料濃度での飼育結果のうち最も成長の良かったものである。

24 種の植物プランクトンのなかで、最も餌料として有効であったものは、褐色鞭毛藻の *Rhodomonas* sp. であった。その時の餌料濃度は

Table 1. Increase of number of zooid of *Bugula neritina* in relation to diatoms as food under culturing conditions of 21–23°C in sea water temperature and 32.5–34.2‰ in salinity

Species	Diatoms	No. of zooid after ten days
	Density of diatoms (10 ³ cells/ml)	
Cryptophyceae		
<i>Rhodomonas</i> sp.	10	72.3
Dinophyceae		
<i>Prorocentrum minimum</i>	3	8.2
<i>Prorocentrum obtusidens</i>	2	12.4
<i>Prorocentrum sigmoides</i>	0.5	2.5
<i>Gymnodinium</i> sp. (type '65)	1	10.7
<i>Gymnodinium</i> sp. (A3)	0.5	1.3
<i>Oxyrrhis marina</i> (Y type)	1	47.5
<i>Oxyrrhis marina</i> (D type)	1	26.7
<i>Gryodinium</i> sp.	1	3.6
<i>Gonyaulax polygrama</i>	1	1.1
Haptophyceae		
<i>Isochrysis</i> sp.	10	1.1
<i>Pavlova lutheri</i>	5	2.5
Bacillariophyceae		
<i>Cyclotella cryptica</i>	100	7.1
<i>Skeletonema costatum</i>	50	2.7
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	100	3.1
<i>Phaeodactylum tricorutum</i>	100	4.5
<i>Nitzschia clasterium</i>	100	3.1
Rhaphidophyceae		
<i>Chattonella</i> sp.	0.5	1.6
<i>Heterosigma inlandica</i>	2	1.2
Euglenophyceae		
<i>Eutreptiella</i> sp.	2	10.5
Prasinophyceae		
<i>Platymonas</i> sp.	10	1.8
<i>Tetraselmis tetrathele</i>	2	1.8
Chlorophyceae		
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	5	18.1
<i>Chlamydomonas</i> sp.	5	8.6
<i>Chorella</i> sp.	300	1.4

10,000 cells/ml・日であり、10日目には個虫数が72までに達した。この餌料で成長した群体は個虫の色、大きさともに天然群体に比較的近いものであった。次に良かった餌料は *Oxyrrhis marina*

であった。この2種を除いて、10日目の個虫数が10以上になった餌料は *Prorocentrum obtusidens*, *Gymnodinium nagasakiense*, *Eutreptiella* sp. および *Dunaliella tertiolecta* などであった。他の餌料生物では10日間では10個虫にまで達しなかった。

2) 幼生の付着選択性

方法：幼生の付着選択性には、2種類の基盤を幼生に選択させる方法によって調べた。二つの基盤をそれぞれ試験基盤、対照基盤とし、200個体の幼生の付着数の差を付着指数とした。対照基盤には新品のスライドガラスを使用した。

第1の材質などの実験では試験基盤として、ポリ塩化ビニル板（粗面と滑面）、ポリエチレン板（粗面と滑面）、ガラス板（スライドガラス、粗面）の合計5種の基盤を用いた。第2の初期フィルムについては、海水に新品のスライドガラスを多数浸漬し、数日おきにその一部を取り上げ、これらを試験基盤として使用した。第3の付着珪藻フィルムについては、単一種培養した付着珪藻がついたスライドガラスを試験基盤とした。海水より付着珪藻 *Achnanthes brevipes* を分離し、これを50 ml 容フラスコで単一種培養した。この付着珪藻をブラシで剥ぎ落とし、スライドガラスに珪藻フィルムを形成させた。付着珪藻の添加量を調整することにより、数段階の密度からなる付着珪藻フィルムをつくることができた。

結果：5種類の基盤のうち、最も付着指数の高かったものはポリエチレン板であり、次はポリ塩化ビニルであった。ガラスが最も低かった (Table 2)。各材質の粗面と滑面とでは粗面の付着指数が僅かに高かった。

海にスライドガラスを浸漬すると、数日以内に基盤には細菌、珪藻、粒子状固形物などを主成分とする初期フィルムが形成される。初期フィルムの形成が進むほど、すなわち、浸漬日数が長くなるほど付着指数が高くなった (Fig. 1)。生物フィルムの構成成分では、珪藻の付着数と付着指数とには高い相関関係が認められた (Fig. 2)。

単一種培養した付着珪藻 *Achnanthes brevipes* の付着数と付着指数との関係を Fig. 3 に示す。付

Table 2. The attachment index of various substrata
 PVC: polyvinylchloride, PE: polyethylene, G: glass, s: smooth, r: rough

Substratum	Number of times of experiments	Attachment index	
		Each value	Average
G-r	2	22, 16	19
PVC-s	7	61, 77, 75, 80, 79, 73, 80	75
PVC-r	2	87, 69	78
PE-s	2	171, 109	140
PE-r	2	189, 135	162

* Attachment index means the number of difference between the attached numbers of larvae on the test-plate and the slide glass

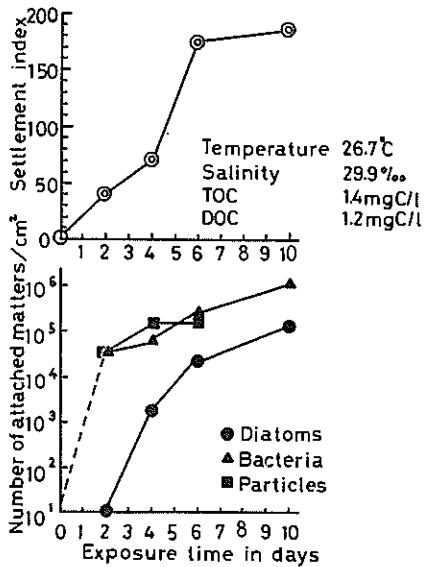


Fig. 1. Increase of the settlement index and attached matter (diatoms, bacteria and particles) per square centimeter with duration of exposure of glass slide in the sea in September, 1984.

着密度が 7.0×10^2 cells/cm² でも付着指数に有意差が認められ、付着密度が増加するに従い付着指数も増大した。

3) 考察

初期群体の飼育法： 餌料価値の高かったのは *Rhodomonas* であり、次に *Oxyrrhis* であったが、*Oxyrrhis* は培養条件によって餌料価値が大きく変動することが知られている。したがって *Rhodomonas* が餌料として適当と考えられる。また、

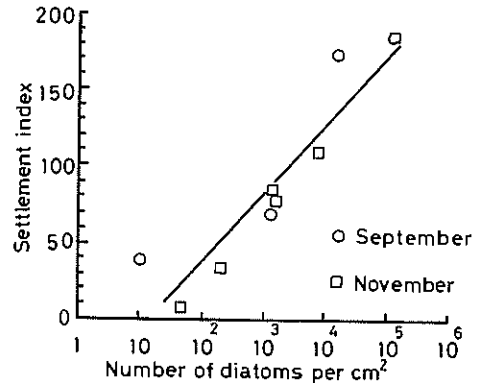


Fig. 2. Relation between the settlement index (I) and density of diatoms (D) attached to glass slides exposed in the sea September and November 1984. The regression line, $I = 46 \log D - 53$ ($r = 0.94$).

本実験に用いた他の生物は餌料として不適當であった。

幼生の付着選択性： 幼生の基盤選択を左右する要因は、基盤の粗面か滑面かといった表面構造よりも材質であると判断される。材質では、ガラスよりもプラスチック系のものに付着するといえる。

初期フィルム形成が進むほど幼生が付着しやすくなると判断される。また、付着指数と付着珪藻の密度とに高い相関があったことより、付着珪藻が基盤を選択する上での重要な要因の一つと考えられた。(担当 平山, 北村)

2. 付着珪藻

海水中に浸漬した基盤に最初に付着する生物

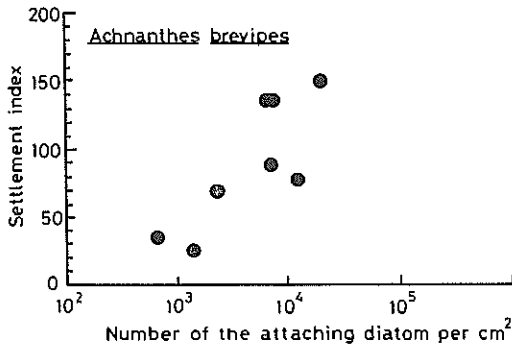


Fig. 3. Relation between the settlement index and the density of attaching diatom, *Achnanthes brevipes* on glass slide.

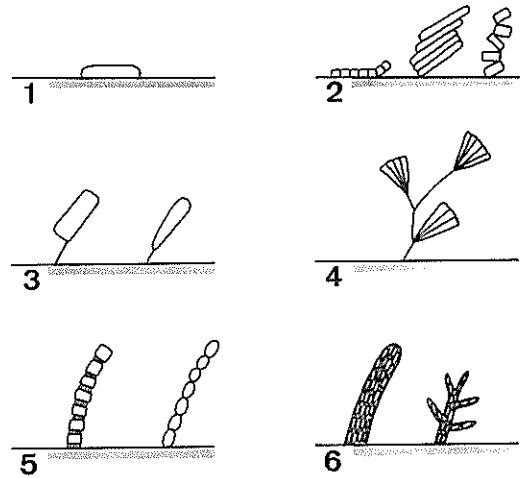


Fig. 4. Seasonal change in the densities of epibenthic diatoms and animals. Open circles for animals and solid ones for diatoms, temperature at the sampling site shown in the bottom.

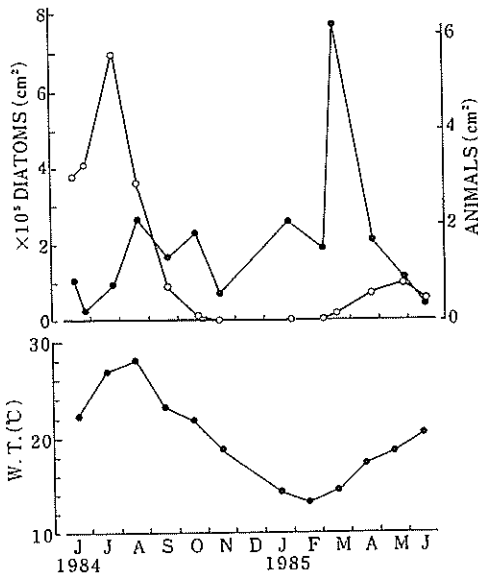


Fig. 5. Attachment types of epibenthic diatoms. 1 Types A & B, 2 type C, 3 type D, 4 type E, 5 type F and 6 type G. Further explanation shown in Table 3.

は、主として細菌、珪藻である。これらは膜状に基盤に付着し、初期フィルムと呼ばれ、多くの付着生物の着生・成長を促進するとされる。またこれらの付着珪藻はアワビ、ウニなどの餌料として用いられている。ここでは、珪藻の付着・増殖の過程を観察し、その培養法ならびに付着防止法の開発に資することを目的とする。

1) 油壺湾に浸漬したスライドガラス上の珪藻の季節変化

方法：神奈川県油壺湾々口にある東大臨海実験所前の筏よりスライドガラスを海面下 1 m に垂下し、毎月 10 日間浸漬した。その後 2.5% グルタルアルデヒドで固定保存し、剝離した後顕微鏡下で計数した。同定に際しては透過型電子顕微鏡 (TEM) も併用した。調査は 1984 年 6 月から 1985 年 6 月の間に行なった。

結果：スライドガラスに付着した珪藻の全数と水温の季節変化を Fig. 4 に示した。これから分かるように春と秋に多く、6・7 月と 11 月に少なかった。この結果は、佐世保湾、英虞湾、南ノルウェー沿岸の例と似ている。また、6・7 月に少ないのは付着動物による摂餌圧によるものと思われる。

2) 付着形態

前記試料で 23 属 90 種の珪藻が見いだされた。これらの付着様式を整理すると次の七つのタイプに分けられた (Fig. 5, 6, Table 3)。すなわち、A: 蓋殻の全面で付着する単体で速い運動をする、B: 蓋殻の全面で付着する単体で運動性は A に劣る、C: 蓋殻の全面または群体の末端細胞の一端で付

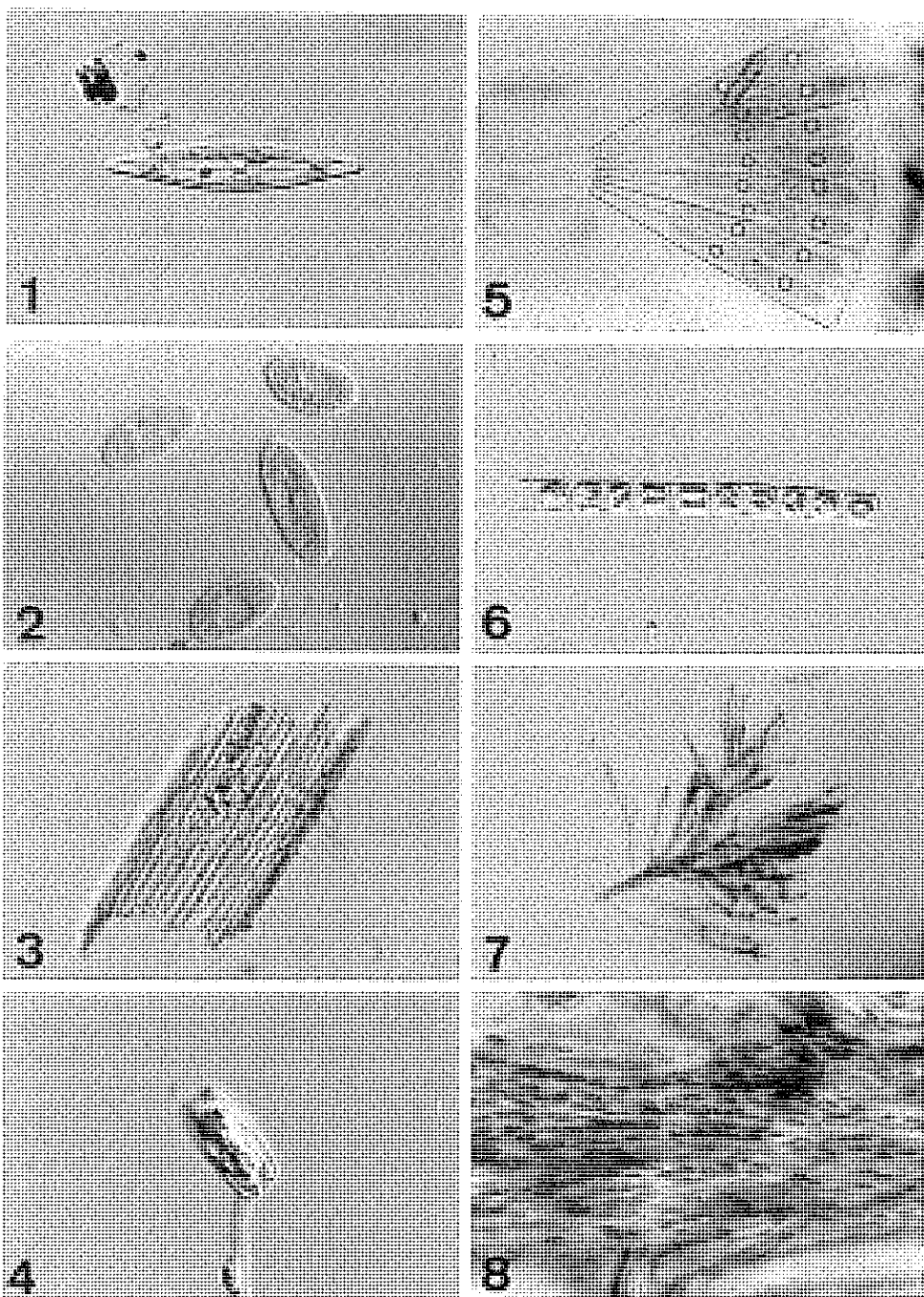


Fig. 6. Attachment types of epibenthic diatoms. 1 *Navicula* sp. (type A), 2 *Cocconeis* sp. (type B), 3 *Bacillaria paxillifer*, 4 *Navicula festiva* krasske, 5 *Licmophora* sp. (Type E), 6 *Skletonema costatum* and 7 & 8 *Berkeleya rutilans*.

Table 3. Attachment types of diatoms on substrata

Types	Explanation
A	Fast moving solitary cell prostrating on the substratum (Fig. 5-1)
B	Slowly moving solitary cell prostrating on the substratum (Fig. 5-1)
C	Motile colonial form, like short ribbon or zigzag chain prostrating or standing upright on the substratum (Fig. 5-2)
D	Solitary cell standing upright with a mucous thread on the substratum (Fig. 5-3)
E	Colonial form, ramified abrorescence, standing upright with mucous threads on the substratum (Fig. 5-4)
F	Colonial form, like linear chain, standing upright on the substratum (Fig. 5-5)
G	Colonial form, enclosed in mucous tube, standing upright on the substratum (Fig. 5-6)

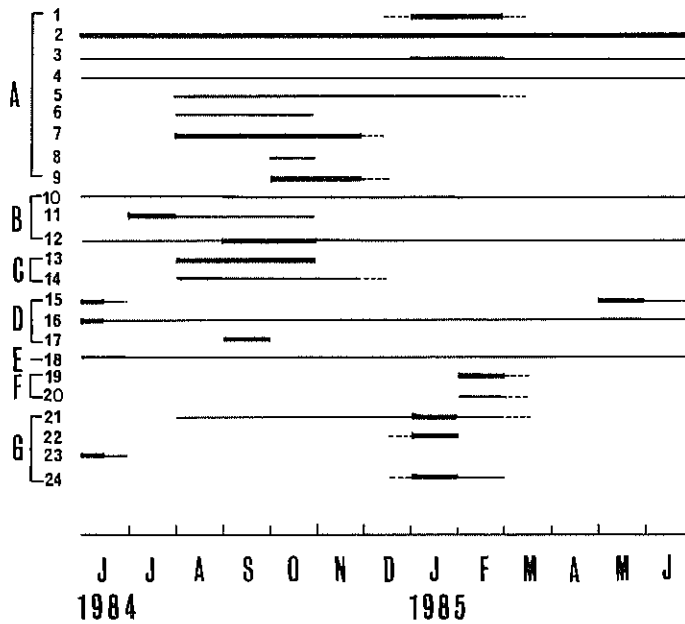


Fig. 7. Seasonal occurrence of epibenthic diatoms. Species: 1 *Navicula cincta*, 2 *Navicula britannica*, 3 *Navicula hialosira*, 4 *Cylindrotheca closterium*, 5 *Nitzschia ovalis*, 6 *Nitzschia corpulenta*, 7 *Nitzschia* sp., 8 *Amphiprora* sp., 9 *Gyrosigma tenuissimum*, 10 *Amphora angusta* var. *ventricosa*, 11 *Amphora ostrearia* var. *vitrea*, 12 *Amphora acutiuscula*, 13 *Bacillaria paxillifer*, 14 *Neodelphineis pelagica*, 15 *Navicula festiva*, 16 *Stauroneis membranacea*, 17 *Tropidoneis* sp., 18 *Licmophora frabellata*, 19 *Thalassiosira* sp., 20 *Skeletonema costatum*, 21 *Navicula ramosissima*, 22 *Navicula grevillei*, 23 *Berkeleya fragilis*, 24 *Berkeleya rutirans*.

着する群体で運動性がある，D：細胞の一端より粘液系を出して付着する单体，E：細胞の一端より粘液系を出して付着する群体，F：細胞が縦に連らなった糸状群体で末端細胞で付着する，G：粘液に被覆された多細胞の群体で樹枝状を成しその末端で付着する。

比較的多く出現した24種について付着形態と出現時間を Fig. 7 に示す。*Navicula britannica* は一年中多数出現した。*N. hialosira*, *Cylindrotheca closterium* (*Nitzschia closterium*), *Amphora angusta* var. *ventricosa*, *Licmophora frabellata* は、多数ではないが周年ほぼ同程度出現した。他

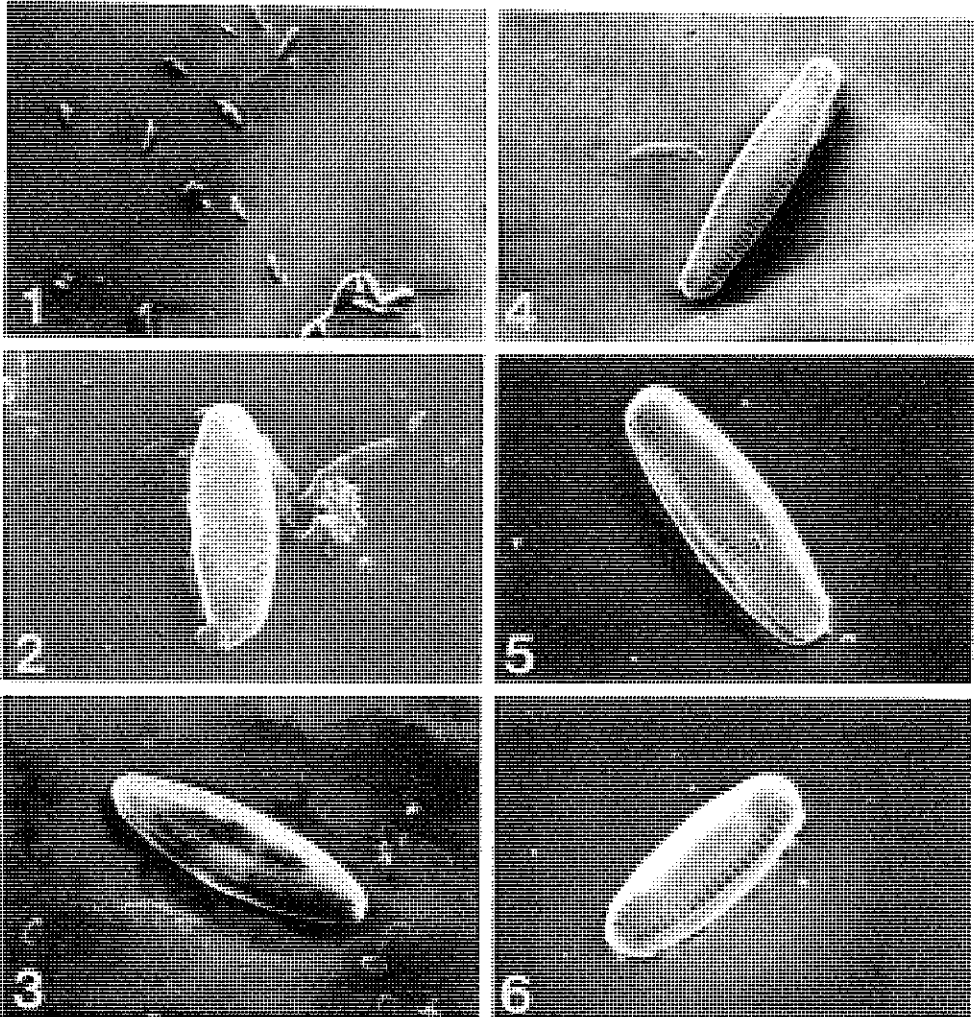


Fig. 8. SEM photographs of diatoms and bacteria* on glass plates.

- 1: Small rod bacteria on the glass plate (BAS) which was immersed in bacterial suspension for three days (without contact with diatom suspension).
- 2: *Synedra* sp. in contact with rod bacteria [on the plate (BAS) which was immersed in diatom suspension for 2 minutes].
- 3: *Navicula* sp. in contact with rod bacteria [on the plate (BAS) which was immersed in diatom suspension for 60 minutes].
- 4: Rod bacteria near *Synedra* sp. [on the plate (BAS) which was immersed in diatom suspension for 60 minutes].
- 5: Rod bacteria on *Synedra* sp. [on the sterile plate (BFS) which was immersed in diatom suspension for 2 minutes].
- 6: *Synedra* sp. alone [on the sterile plate (BFS) which was immersed in diatom suspension for 2 minutes].

* Small micrococcus-like materials seem to be something residual due to solute.

Table 4. Number of diatoms and bacteria which attached on the sterile plates (BFS) and on the plates previously coated with bacteria (BAS)

Immersion time (min)	Diatoms cells/mm ² *		Bacteria 1000 cells/mm ² *	
	BFS	BAS	BFS	BAS
0	0 + 0	0 + 0	0 + 0	34.2+4.5
2	3.7+ 1.2	2.0+ .6	.16+ .14	29.6+5.0
5	7.3+ 1.0	6.9+ .2	1.6 + .43	36.2+6.2
10	21.9+ 1.3	28.3+ 3.7	2.7 + .53	45.2+5.2
30	339.4+121.1	347.1+53.1	1.8 + .47	35.3+3.0
60	260.3+ 33.8	401.8+80.0	2.4 + .83	41.2+4.4

* Mean+standard error.

Table 5. Percentage of diatoms in contact with bacteria

Immersion time (min)	Sterile plates					Bacteria-coated plates				
	2	5	10	30	60	2	5	10	30	60
N 1, cells	24	26	24	13	11	13	17	12	20	15
N 2, cells	0	5	4	1	3	8	9	8	12	10
N 2/N 1, %	0	19.2	16.7	7.7	27.3	61.5	52.9	66.7	60.0	66.7

N 1: Total number of observed diatoms in SEM photos.

N 2: Number of diatoms in contact with bacteria.

は特定の時期にのみ多く出現した。大別すると夏から秋に多い種 (*Nitzschia corpulenta*, *Gyrosigma tenuissimum*, *Amphora ostrearia* var *vitrea*, *A. acutiuscula* など), 冬から初春に多い種 (*Navicula cincta*, *N. ramosissima*, *N. grevillei*, *Thalassiosira* sp., *Skeletonema costatum* など) に分けられる。

3) 珪藻付着の初期過程

細菌やデトリタスの付着した基盤の方が、珪藻がすみやかに付着・増殖するといわれる。そこで細菌フィルムが珪藻付着に必須のものであるかどうかを検討するため、あらかじめ細菌を付着させた基盤 (BAS) とそうでない基盤 (BFS) とに付着する珪藻と細菌の状態を走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて観察した。

ガラス円板を濾過滅菌海水および細菌懸濁液に3日間浸漬して BFS および BAS をそれぞれ作成した。両基盤を蓋付シャーレに入れ、それぞれに 60 μ l の珪藻懸濁液 (*Synedra* sp. が 90% 以上)

を一定時間載せた。付着していないものを除去するために濾過滅菌海水中で洗い、固定、水洗、風乾後 SEM で観察した (Fig. 8)。

Table 4 から分かるように、BAS には BFS に比べて多くの細菌が付着していたが、珪藻の付着数には差が認められなかった。経時的には BFS の場合、細菌の付着数は浸漬して 2~5 分の間に大きく増え、その後 60 分まではあまり変らなかった。一方、珪藻の付着数は浸漬して 30 分までは徐々に増えたが、その後 60 分まではあまり変らなかった。

Table 5 に細菌が付着または接触している珪藻の割合を示したが、この表からも分かるように珪藻の付着には、あらかじめ細菌が基盤に付着していることが必須ではないと考えられる。しかし、両者の種特異性や増殖に対する影響についてはさらに検討の要がある。(担当 平野, 二村)

3. フジツボ類の生殖, タテジマフジツボの精子の形態

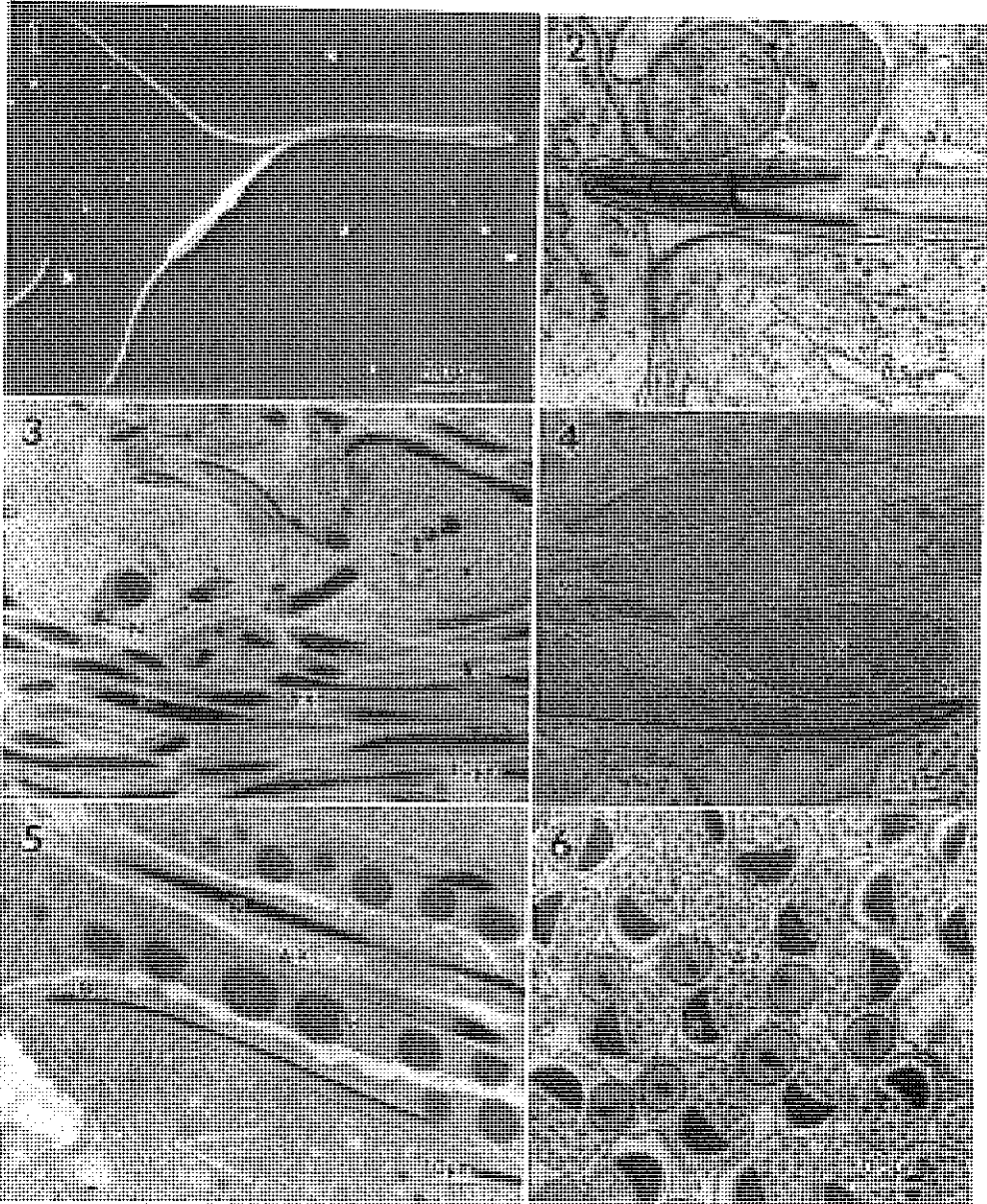


Fig. 9. Spermatozoon of *Balanus amphitrite*.

- 1: Spermatozoon.
- 2: Longitudinal section of the acrosomal region (Ac). The acrosomal region rests on the collar (C). AX: axoneme (axial filaments).
- 3: Longitudinal section of the nucleus region.
- 4: The elongating nucleus (N) and on mitochondrion (M) behind the nucleus are observed. Cb: central body.
- 5: Longitudinal section of large accessory droplet (Ld) and nucleus (N) region.
- 6: Transverse section of the spermatozoon. Large accessory droplet (Ld), a nucleus (N) and axial filaments (Ax) are observed in each spermatozoon.

フジツボ類の生殖生態に関する知見は少ない。ここではフジツボ類の生殖の特性を明らかにする目的で精子の形態を調べた。まず、全国的に広く分布するタテジマフジツボ (*Balanus amphitrite*) の精子の微細形態をその形成過程を追って観察した。タテジマフジツボは横須賀市夏島岸壁において1983年10月～1984年8月に採集した。精巢および貯精嚢より絞り出した成熟した精子を透過型 (TEM)・走査型 (SEM) 電子顕微鏡で観察した。

精子のSEMによる形態をFig. 9-1に示す。全長約36 μm の細い糸状を呈している。先端から約7 μm の部分より後部へ約7 μm 長部位が膨大している。膨大部位の幅は0.7 μm で、ここに大型顆粒 (Fig. 9-5, 6) が位置していると推定される。*Balanus balanus* や *B. perforatus* の精子 (全長約80 μm) と同様に外形からは頭部頸部尾部の区別は不明瞭である。

TEMにより観察した内部微細構造の特徴は次のごとくであった。1) 軸系 (axial filament) の先端は先体部 (acrosomal region) まで伸長している。つまり軸系が精子の先端から後部まで貫いている。軸系の先端部に頸部 (collar) があり、頸部が核 (nucleus) の前に位置していることになる (Fig. 9-2)。2) 核が細長く伸長している (Fig. 9-3)。3) ミトコンドリア (mitochondrion) が核の後部に1個しかない (Fig. 9-4)。4) 核と軸系を挟んで並列した1個の大型顆粒 (large accessory droplet) がある。この顆粒内には電子密度の高い球状の小顆粒が配列しており、全体として莢に入った豆のような形態をしている (Fig. 9-5, 6)。

このような形態的特徴は精子形成の過程から導かれたものと思われる。すなわち、精子形成期に入り、精母細胞内の1対の中心体 (central body) から軸系が形成される際、一方が核の先端を引張るように細胞質の反対極へ移動する (Fig. 9-4)。この軸系の先端が将来の頸部になることは、電子密度や構造がFig. 9-2の頸部と同様であることから確かであると考えられる。また、これと同時期にミトコンドリアが1個しか認められなくなる。ミトコンドリアの大きさが増大していないこ

とから、Nematodesの精子で知られているようなミトコンドリアの融合が起きているとは考えられない。このことは他のフジツボ類においても観察されており、フジツボ類共通の精子の運動性能の低さを示唆しているものと思われる。軸系が形成されて核の濃縮が進んだ時期から、大型顆粒の形成が始まる。この大型顆粒内に小顆粒を配列させる形態はタテジマフジツボの特徴のようである。

フジツボ類の精子は卵が放出される殻腔内に放精されるので、精子の運動性能は低いものと推察される。しかし受精の際に卵塊を覆う厚い弾性のある膜を通過せねばならない。この時に精子は穿孔運動をするといわれている。本種の精子が頭端まで達する軸系を持っているのは、穿孔運動を可能にするためではないかと思われる。なお、大型顆粒の性状や機能については不明である。(担当 梶原、伊藤)

4. 検定生物

ムラサキイガイは日本沿岸はもちろん、世界的にも広く分布している付着性二枚貝である。本種に寄生する橈脚類を検定生物にすることができる。宿主貝の環境指標性も利用できるため精度の高い検定・指標生物として用いられることが予想される。そこで日本沿岸のムラサキイガイに最も普通に出現する寄生性橈脚類 *Pseudomyicola spinosus* の室内飼育を試み、小型シャーレ内で卵から親まで飼育する方法を確立した。したがって同一遺伝子をもつストレインを作る見通しがついたが、現在は本種の生理・生態の解明に重点をおいて研究を進めている。

本種は浮遊性ノープリウス6期を経て第1期コペポディドになる。ノープリウス期には体内に栄養を保有し摂餌はしない。第1期コペポディドで宿主貝に侵入し、宿主の鰓の分泌物を餌として、5回脱皮変態を行なって成体になる。飼育方法の差異によって雄成体に大型の葡萄型と、小型の遊泳型の二型が発生することが分かった。両型とも交尾能力は十分で、体の大きさと行動の違いを除いては差は認められない。遊泳型雄は第1期コペポディドから単独で飼育した場合にのみ発生

Table 6. *Pseudomyicola spinosus*. Lifespan and ovipositions observed after a single mating in females cultured from eggs under the conditions of 20°C and 17‰ chlorinity sea water. Numerals in parentheses indicate oviposition after second mating. Nos. 1, 4, and 18 were killed accidentally

Individual female	Length of adult stage (d)	Duration from first to last oviposition (d)	Duration from last oviposition to death (d)	Number of ovipositions	Average interval between ovipositions (days)	Number of eggs	
						Total	Per oviposition
1	340	335	—	45	7.3	—	—
2	118	81	31	12	7.3	—	—
3	101	74	21	11	7.3	—	—
4	115	102	—	15	7.2	—	—
5	694	472 (72)	89	67 (12)	7.1 (6.5)	898 (152)	13.4 (12.7)
6	76	58	13	9	7.1	—	—
7	156	135	16	22	6.4	416	18.9
8	132	110	3	17	6.8	196	11.5
9	359	174 (65)	23	25 (10)	7.3 (8.2)	263 (88)	10.5 (8.8)
10	148	134	7	20	7.0	304	16.0
11	849	818	16	106	7.8	990	9.3
12	189	176	7	24	7.6	165	6.9
13	129	108	5	20	5.6	198	9.7
14	46	7	14	2	—	—	—
15	358	243 (17)	57	33 (3)	6.9 (6.7)	462 (17)	14.0 (5.7)
16	80	68	5	13	5.6	135	10.4
17	101	76	4	14	5.8	141	10.1
18	177	127	—	19	7.0	61	3.2
19	437	422	7	64	6.7	966	15.1
20	342	311	18	47	6.5	647	13.2

—: not observed.

する。天然で遊泳型雄の出現がごくまれであるのは、宿主貝に侵入時から成体になるまで単独で生育することはほとんどないことに起因した現象と考えられる。

本寄生橈脚類の体長は、雌が 1.8~2.7 mm、雄が 1.6~2.0 mm である。飼育条件下での寿命と産卵回数を調べた。

横須賀港の潮間帯に生息するムラサキガイより本種の雌親を採集した。抱卵されている受精卵を親より離してシャーレに収容してノウブリウスにふ化させた。第 1 期コペポディドより個別に飼育して処女の雌雄を得た。ふ化より親になるに

は平均 26 日を要する。20 尾の処女雌を交尾させ個別飼育しながら、各個体について産卵回数、卵数、産卵間隔、寿命など記録した。飼育海水の塩分濃度は 30、水温 20°C の恒温、コペポディド以後の餌はムラサキガイの鰓片で、2~3 日に 1 回の割合で飼育水と餌をとりかえた。

観察した 20 尾の雌について、親になってからの生存日数、産卵期間、産卵回数、産卵数を Table 6 に示す。本種の雌は体内に貯蔵している精子によって卵を受精させ、平均 7 日間隔で産卵をする。雌は体内に精子が貯えられている期間は交尾をしない。20 尾の雌で 2 回交尾をしたのは

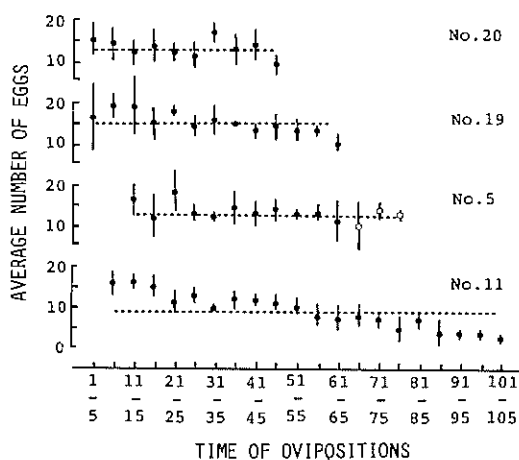


Fig. 10. *Pseudomyicola spinosus*. Average number of eggs per five ovipositions in females that laid more than 45 times. The bars, horizontal dotted lines and numbers in the figure indicate the standard deviations, total average number of eggs and observed number of females shown in Table 6. The closed and open circles indicate average number of eggs at ovipositions from the first and second matings, respectively.

3 個体 (Table 6 の Nos. 5, 9, 15) で、他は 1 回の交尾である。表 6 では実験中の事故により No. 1, 4, 18 の 3 尾を死亡させた。残りの 17 尾では、生存期間は 46~849 日と個体による変異が大きい。最長は No. 11 の 849 日で、1 回の交尾で 106 回産卵した。天然では、宿主のムラサキガイの死により本種も死亡すると思われるので、本寄生機脚類の生存期間は 1 年以下と推測される。

本種の平均産卵数/回は、天然では周期的に 25~43 卵であった。これに比べると飼育下での産卵数はかなり低い。飼育条件下では天然よりも餌の栄養が低下し、取扱いによるストレスなどの影響によるのであろう。

飼育下で 45 回以上産卵した長寿個体の経時的な産卵数は、Fig. 10 に示すように変化していた。最初から 20 回までの産卵数は、全回の平均産卵数よりも多いが、1 回当たりの産卵数の変動も大きい。21~50 回の産卵数は全回の平均数とほぼ等しい。50 回以上になると、各回の産卵数は全回

の平均数以下になり、回が進むにつれて産卵数は減少する。これは老齢による卵巣機能の低下によるのであろう。産卵間隔は 50 回までは平均約 7 日であったが、50~75 回では平均 7.5~9.0 日になった。

飼育条件下での雄の交尾能力を調べた。交尾後、直ちに雌より分離し、次は新たな処女雌といっしょにさせる方法で測定した。3 尾の処女雄についての結果では、2 尾は 2 回、1 尾は 7 回交尾して死亡した。これによって雄は複数回の交尾が可能であることが分かった。(担当 梶原, 伊藤)

5. 付着生物の餌料価値

我が国沿岸域の養殖生産量は、200 海里時代に入ってますます増加する傾向にあるが、その一面、養殖施設に着生する付着生物量の増加は、養殖漁場の生産性低下の原因の一つとなっている。付着生物の最も確実な防除方法は人間の食用として活用することであり、海藻、二枚貝、ホヤなど古くから多くの種類が利用されている。現在、汚損生物に含まれている種類であっても養殖用餌料として利用しうるのであれば、その防除は自ずと有効に行なわれることになる。そのためには汚損生物を餌料として摂取する養殖対象種を選定することが必要である。ムラサキガイを餌料とするクルマエビ、多くの付着生物を摂餌するキタムラサキウニはその例である。クルマエビはすでに我が国の南方沿岸においては養殖企業の対象種となっているが、北方域においては、まだそれに該当する適種は知られていない。ロブスター (*Homarus americanus* および *H. gammarus*) は我が国には棲息していないが、三陸、北海道沿岸におけるかかる意味での養殖適種と考えられる。

1) ロブスターの垂下養殖

ふ化したロブスターの幼生は、水温約 18℃ では約 2 週間で 3 回の脱皮を終えて、第 4 期に変態する。変態直後のロブスターは活発に遊泳しているが、次第に底生生活に移行し、4 回目の脱皮後には完全に潜伏生活に移行する。陸上水槽での飼育においては、採集の容易な第 4 期で取り上げ、それを別の水槽に移して約 1 年間中間育成を行ない、その後籠などによる個別飼育に切り替える

Table 7. List of small marine crustacean found on the netting culture cage in Okkirai Bay

Common name	Scientific name
かまきりよこえび	<i>Jassa falcata</i>
まるふくれそこえび	<i>Stegocephalus inflatus</i>
にっぽんもばよこえび	<i>Ampithoe lacertosa</i>
とげほよこえび	<i>Paradexamine barnardi</i>
あごながよこえび	<i>Pontogeneia rostrata</i>
にほんそこえび	<i>Eurystheus japonicus</i>
ほそよこえび	<i>Erichthonius pugnax</i>
とげどろくだむし	<i>Corophium crassicornae</i>
いばらわれから	<i>Caprella acanthogaster</i>
まるえらわれから	<i>Caprella acutifrons</i>
とげわれから	<i>Caprella scaura</i>
くびながわれから	<i>Caprella aequilibra</i>
ほそわれから	<i>Caprella danilevskii</i>
にほんこつぷむし	<i>Cymodoce japonia</i>
しりけんうみせみ	<i>Dynoides dentisinus</i>
よつばこつぷむし	<i>Sphaeroma retrolaevis</i>
ノルマンタナイス	<i>Anatanais normani</i>

のが実際的である。

この養成過程のいずれの段階においても必ず問題になるのは、適当な大きさと栄養価を有する餌料の大量供給である。大きい鋏脚を有するロブスターは棲息密度の高い養殖環境においては相互の争いによる死亡率の増加が起こりがちである。これを回避する唯一の方法は、常時多数の活餌を水槽内に存在させることである。第4期ロブスターに対する成体アルテミアはその意味では理想的な餌料であるが、大量のアルテミアの養成はかなり困難である。したがって冷凍餌料あるいは配合餌料に依存せざるを得ないが生残率の低下は避けられない。

第4期ロブスターにヨコエビ、ワレカラなどの小型甲殻類を投与したところ、種類により捕食に難易の差があり、また脱皮期間の個体差も大きかったがいずれも第5期に成長した。越喜来湾の養殖施設には、Table 7 に示すようにこれらの小

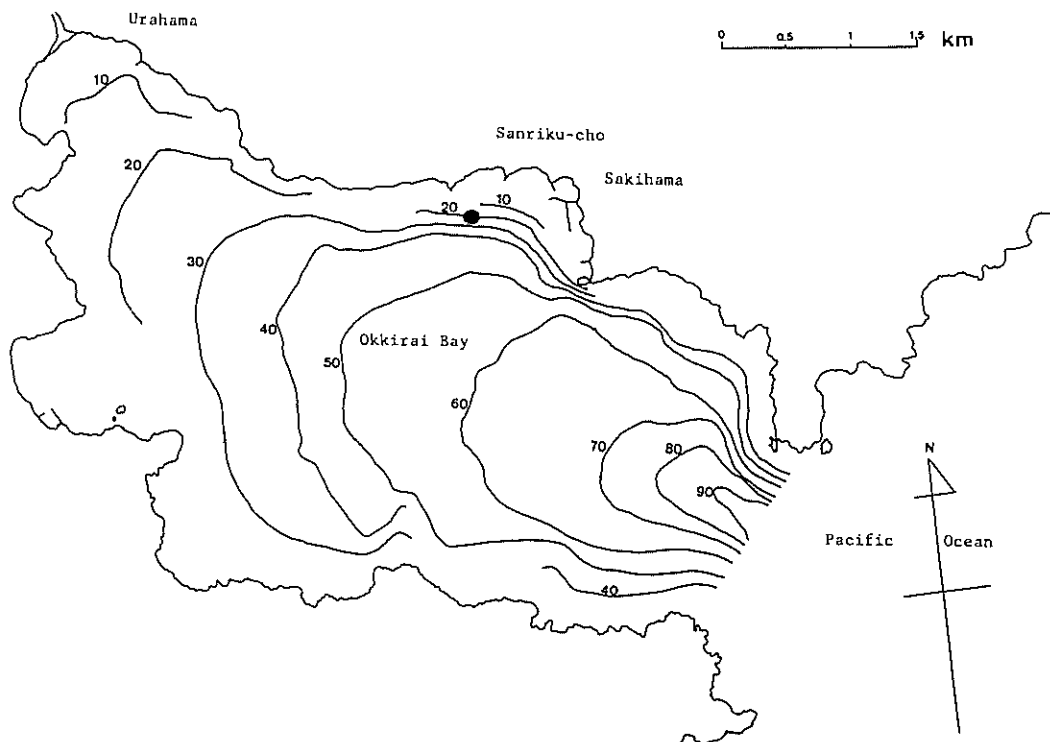


Fig. 11. Map showing the experimental site in Okkirai Bay. Numerals indicate water depth (m), ●: station for the experimental raft.



Fig. 12. Netting cage installed in Okkirai Bay for the experimental culture of the 4th stage lobsters. Left: general view, Right: a netting cage.

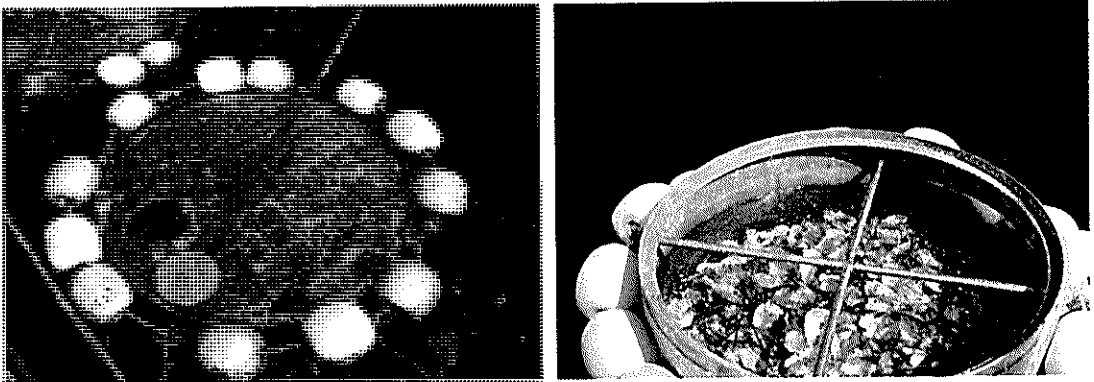


Fig. 13. Netting cage made from titanium wire. Left: A cage with cover immersed at the surface, Right: the cage which was removed the cover due to break.

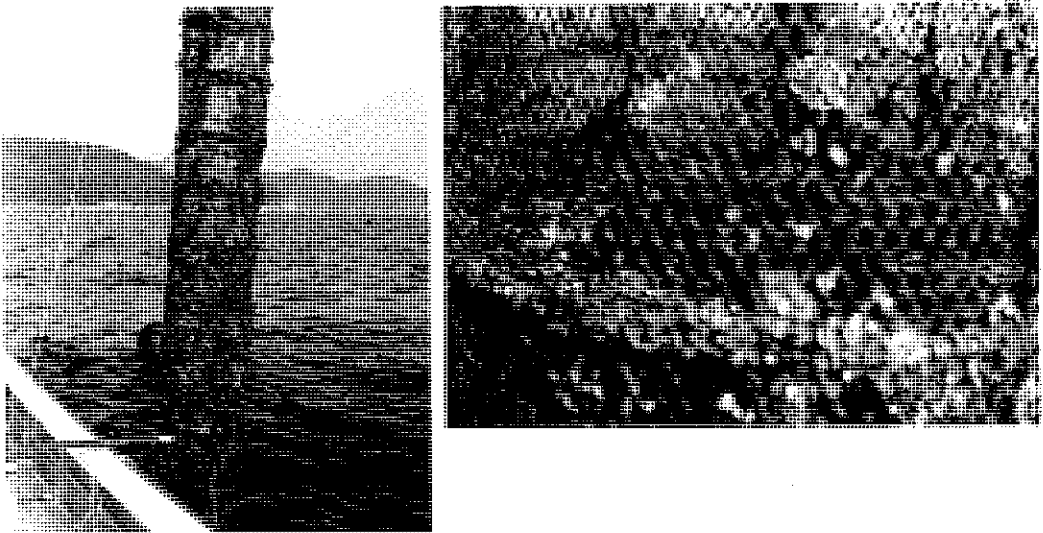


Fig. 14. Lantern-like netting cage made from fishing net. Left: A lantern immersed during summer and autumn in Okkirai Bay, Right: a compartment of the lantern.

Table 8. Growth rate of the 4th stage lobster cultured in a netting cage hanged in Okkirai Bay from June 30 to October 19, 1983 without supplemental feeding

Body weight (g)	Percentage in number	Approximate stage
2.2-2.5	2	6th
2.6-2.9	5	7th
3.0-3.3	6	
3.4-3.7	15	8th
3.8-4.1	13	9th
4.2-4.5	13	10th
4.6-4.9	9	
5.0-5.3	14	11th
5.4-5.7	11	
5.8-6.1	6	12th
6.2-6.5	2	
6.6-6.9	1	
7.0-7.3	1	13th
7.4-7.7	1	
Total	100	

型甲殻類が大量に出現したので、ロブスターに対する餌料生物としての利用を検討した。

(1) 当歳ロブスター：1983年6月、Fig. 11に示す越喜来湾の水深10m地点に設置した筏より、3m×1.5m×深さ0.4mの網槽2面を水深1mに垂下し、第4期ロブスターを各500尾収容した(Fig. 12)。網槽の底には、カキ殻約2kgを入れた直径約30cmのパールネットを、1面当たり約30籠をシェルターとして配置した。餌料として、放養直後にクルマエビ用ペレットを与えたが、以後は無給餌で飼育した。同年10月19日、取揚時における体長組成はTable 8に示すごとくであった。成長段階は第6～13期にわたり、第8～11期まで成長した個体が大多数を占めていた。生残率は25および41%であった。この生残率は給餌した陸上水槽での値に比べて劣っていない。これは網槽では放養初期には網目を通してプランクトン的な餌料生物が流入し、ロブスターの底生生活移行後にはカキ殻の隙間に繁殖したヨコエビ類が餌として利用されたためと考えられる。

なお、この網槽には化繊網地を使用したか、

Table 9. Chemical composition (%) of marine fouling organisms found in Okkirai Bay

	Gammarus	Caprella	Mussels
Water content	80.4	76.1	86.0
Protein	9.1	10.7	9.3
Fat	1.1	2.0	0.8
Cellulose	1.3	3.0	0
Ash	8.0	7.8	2.6
Saccharoide	0.1	0.4	1.3

Note: Materials were collected from a netting cage on May, 1986.

1984年6月にFig. 13に示すような頑丈な材質であるチタン網で作った網槽を水面に設置して、第4期ロブスターの育成を試みた。小型甲殻類の着生量は化繊網槽よりも多量であったが、蓋の部分の網が枠との接着部位から裂けて2か月後には使用不能の状態になった。このように化繊網の方が実用的である。しかし、ロブスターはシェルターとしてのパールネットの下に潜入する傾向があるため、パールネットと網槽本体とのすれによって時に損傷を受ける個体が出現した。パールネットは取扱いが容易であるが設置方法についてはなお改良が必要である。

(2) 1歳以上のロブスター：ロブスターの第1歩脚は鉗状に巨大化しているが、その機能はもっぱら個体間の優劣の決定、外敵に対する威嚇、あるいは交尾・産卵・幼生ふ出などに際して体を支えるために用いられている。すなわち、鉗の形態から連想されるような物を切断する機能はない。したがって漁網を用いた籠も使用できるものと考えて試験を行なった。

Fig. 14に示すような、1.25cm目の漁網を用いて高さ約4mの行灯状の籠を3連作り、直径約30cmのポリ塩化ビニル製円板で各連を10段の個室に仕切った。各連に1歳(平均体重7.3g)、2歳(同41g)および3歳(同115g)個体を各10尾収容し、1984年6月より約1年間越喜来湾に垂下した。同年12月までの脱皮回数は1歳群平均3.5回、2歳群2.4回および3歳群1.4回で、同時期の陸上水槽での各年齢群の平均脱皮回数2.5、1.9および1.1回を上回っていた。こ

これらの結果から、ロブスターは約 200 g の大きさまでは籠に着生する付着生物によって養成することができる。籠を大きくして、籠当たりの付着生物の着生量を増加させればさらに大型個体の養成も可能と思われる。なお、12 月より翌年 5 月までの期間は、低水温のため脱皮成長は認められなかった。

2) 付着生物の一般成分

1986 年 5 月上旬、ロブスター垂下籠の網地に着生していたヨコエビおよびワレカラを採集し、一般成分の分析を行なった。結果を Table 9 に示す。表には参考までに垂下ロープに着生していたムラサキイガイの軟体部の分析結果を示しておいた。ムラサキイガイは海産甲殻類に対して栄養的に完全な餌料である。ヨコエビおよびワレカラの水分は 76~80%，粗タンパク質は 9~11%，粗脂肪 1~2%，繊維 1~3%，灰分 8%，糖質 0.1~0.4% であった。粗タンパク質と粗脂肪の量はムラサキイガイと同程度あるいはそれ以上含まれている。ヨコエビおよびワレカラのアミノ酸組成と脂肪酸組成もムラサキイガイのそれらに類似している。これらの付着生物はロブスターなどの海産甲殻類の養成用餌料として極めて優れていると結論できる。(担当 橘高)

おわりに当たり、本研究に助成をいただいた日産科学振興財団に対して謝意を表するとともに、同財団のますますのご発展を祈る。

発表論文

- 1) 橘高二郎, 西村和也, 山田和彦, 早川康博: ウニの餌行動の解析. 付着生物研究, 4, 5-9 (1983).
- 2) Kittaka, J., Y. Henocque, K. Yamada and N. Tabata: Experimental release of juvenile lobster at Koshiki Islands in South Japan. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 49, 1347-1354 (1983).
- 3) 劉 明淑, 梶原 武: ムラサキイガイの繁殖生態. 付着生物研究, 4, 11-21 (1983).
- 4) Hayakawa, Y. and I. Kittaka: Simulation of feeding behavior of sea urchin *Strongylocentrotus nudus*. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 50, 233-240 (1984).
- 5) 伊藤信夫: 海洋構造物の付着生物—付着状況の実態と保守管理との関連—. 海洋化学, 16, 167-172 (1984).
- 6) 梶原 武: 海洋付着生物—海洋付着生物研究における諸問題—. 海洋科学, 16, 128-133 (1984).
- 7) 北村 等: フサコケムシ群体の成長と環境要因. 海洋科学, 16, 141-145 (1984).
- 8) 北村 等, 平山和次: 自然海域のフサコケムシ群体の成長, 成熟. 付着生物研究, 5, 9-14 (1984).
- 9) Kitamura, H. and K. Hirayama: Growth of the bryozoan *Bugula neritina* in the sea at various water temperatures. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 50, 1-5 (1984).
- 10) 橘高二郎: 付着生物の捕食者—ウニ・ロブスター—. 海洋科学, 16, 146-152 (1984).
- 11) 二村義八朗: 生物検定法. 付着生物研究, 5, 47-54 (1984).
- 12) Do, T. T., T. Kajihara and J.-S. Ho: The life history of *Pseudomyicola spinosus* (Raffaele and Monticelli, 1885) from the blue mussel, *Mytilus edulis galloprovincialis* in Tokyo Bay, Japan, with notes on the production of atypical male. *Bull. Ocean Research Institute, Univ. of Tokyo*, No. 17, 1-65 (1984).
- 13) Kitamura, H. and K. Hirayama: Suitable food plankton for growth of a bryozoan *Bugula neritina* under laboratory conditions. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 50, 973-977 (1984).
- 14) Kittaka, J.: Shrimp culture in Japan. Proc. MAB/COMAR Regional seminar, Tokyo, 141-146 (1984).
- 15) 橘高二郎: 水産分野における防汚剤に対する生物試験法. 防菌防霉, 13, 63-70 (1985).
- 16) 天野光孝, 加戸隆介, 橘高二郎: コノハエビの生態と飼育. 付着生物研究, 5, 7-12 (1985).
- 17) Kajihara, T. and K. Nakamura: Life span and oviposition of the parasitic copepod *Pseudomyicola spinosus* under rearing conditions. *Marine Biology*, 87, 55-60 (1985).
- 18) 北村 等, 平山和次: 室内飼育法によるフサコケムシ群体の成長と水温との関係. 付着生物研究, 5, 27-29 (1985).
- 19) Kitamura, H. and K. Hirayama: The effect of low salinity on the early growth of a bryozoan, *Bugula neritina* in the sea and laboratory. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 51, 1401-1405 (1985).
- 20) 橘高二郎: 天敵による付着生物の防除技術. 化学工業, 36 (5), 29-33 (1985).
- 22) 橘高二郎, 渡辺 宏: ケーブロットロブスターの捕食行動. 海洋科学, 17, 348-355 (1985).