

石油精製工場の廃水中に形成される

スライムに関する研究—Ⅱ*

スライム，廃水および用水中に存在する細菌
ならびに微小生物について

藤沢 浩明・村上 正忠

Studies on Slime-Like Substance Formed in Drainage System
of Refinery Plant—Ⅱ.

Bacteria and Other Microorganisms in Slime-Like
Substance, Waste Water and Industrial Water

By

Hiroaki FUJISAWA and Masatada MURAKAMI

In the first paper of this series¹⁾, slime-like substance (the slime, for short), waste water and industrial water of a refinery plant were investigated chemically and sensuously.

In this paper the same materials were biologically investigated, considering the role played by bacteria and various other microorganisms, namely, Bacillariophyceae, Cyanophyceae, Flagellata and Ciliata, in the formation of the slime in the drainage system of a refinery plant.

The results obtained are summarized as follows:

1. In the slime formed in the drainage system, various or numerous bacteria, Bacillariophyceae and Cyanophyceae were found on the whole, and a few of Flagellata and Ciliata were detected in all seasons.

The bacterial counts in the slime were mostly $10^8 \sim 10^9$ cells/g (of wet slime), and

*水産大学校研究業績 第699号, 1973年7月20日 受理.
Contribution from the Shimonoseki University of Fisheries, No. 699.
Received July 20, 1973.

in that at Station 6 in summer, a bacterium which forms slimy trichomes, *Sphaerotilus* was abundantly found.

In all the samples, Bacillariophyceae consisting of 29 genera was found, and of those genera, *Skeletonema*, *Amphora*, *Cymbella*, *Asterionella*, *Nitzschia*, *Rhizosolenia*, *Coscinodiscus* and *Navicula* were frequently detected. *Skeletonema* and *Amphora*, particularly, were predominantly found in all seasons. And then, the occurrence state of Bacillariophyceae was scarcely affected by the station, but was largely affected by season, for instance, in summer that remarkably decreased in the number of genera and in the frequency in detection of each genus except *Skeletonema* and *Amphora*.

Cyanophyceae consisting of *Oscillatoria*, *Phormidium* and *Achroonema* was found on the whole, particularly, at Stations 5 and 6 they were abundantly found in all seasons, and *Oscillatoria* of them was predominantly found.

Flagellata consisting of *Dictyocha*, *Ceratium* and *Peridinium*, and Ciliata consisting of *Tintinnopsis*, *Codonellopsis* and *Paramecium* were scanty.

2. Of bacteria, Bacillariophyceae and Cyanophyceae found abundantly in the slime, *Sphaerotilus*, *Skeletonema*, *Amphora*, *Oscillatoria*, *Phormidium* etc. may play an important role in the formation of the slime. And then, considering their influences upon form, color and viscosity of that, bacteria and *Oscillatoria* of them may be the leading part in the formation of it.

3. In the waste water as in the slime, bacteria, Bacillariophyceae and Cyanophyceae were considerably abundant, and Flagellata and Ciliata were scanty. And then, in the industrial water as in the waste water, bacteria and Bacillariophyceae were considerably abundant, and Cyanophyceae, Flagellata and Ciliata were scanty.

4. As stated above, it was found that bacteria and other microorganisms occurred equally in the industrial water, though they were less than those in the waste water and the slime. Therefore, it can be considered that bacteria and other organisms in the slime and the waste water, were derived from them in the industrial water, namely, the natural sea water.

Judging from the results of biological and chemical studies, the mechanism of the formation of the slime is considered as follows:

Bacteria, Bacillariophyceae and Cyanophyceae in the industrial water, namely, the natural sea water, shift to the waste water rich in nutrients, and they grow in the waste water; some of them do by means of adhesion to the surfaces of concrete and pipe, or suspended solids in the drainage canal or the catchment basin, while the others freely.

Various floating matters consisting of bacteria, other organisms and inanimate matter in the waste water, catch in the incomplete slime and they entwine each other. In that case, slimy secretions from bacteria and Cyanophyceae may play an important role.

In such a manner, the size of the slime may enlarge gradually, and that in down or pellicle of various tints and viscosity, may be completed.

緒 言

前報¹⁾に続いて石油精製工場の廃水中に形成されるスライムの実態および生成の要因を明らかにする目的で、四季にわたってスライム、廃水および用水中に存在する細菌ならびに珪藻類、藍藻類、鞭毛藻類などの微小生物の出現状況を調べ、スライムの形成に果すこれらの生物の役割について検討した。その結果について報告する。

実 験 方 法

1. 試 料

前報¹⁾の化学的調査に用いた試料と同一の、四季にわたり種々の定点において採取したスライム、廃水および用水を供試した。

2. 細菌数の測定

各試料中の細菌数の測定は、ZO BELL 2216E 培地²⁾を用いる平板計数法 (25℃, 5日培養) によった。

3. 微小生物の分類および出現頻度

珪藻類、藍藻類、鞭毛藻類などの微小生物について、スライム試料ではそのまま、また廃水および用水試料では遠心分離 (10,000 rpm, 30分間) して上澄液の大部分を除いたのち、少量をスライドグラスに採って、400倍で検鏡すると共に写真撮影によって形態を観察し、種属を同定した。なお、これらの生物は主として属レベルに整理し、各試料中の出現頻度をそれぞれ5段階で表した。

結 果

1. スライム中の細菌および微小生物

周年にわたる各定点のスライム中の細菌数、微小生物の種類および出現頻度を一括して、第1表に示す。また、出現した生物の顕微鏡写真を付図I、IIおよびIIIに掲げた。

第1表から、スライム中の細菌および微小生物の出現状況は定点あるいは季節によって異なる場合があるが、おおむね次のことが言える。

スライム中の細菌数は、 $10^5 \sim 10^9$ cells/gで、大部分が $10^8 \sim 10^9$ cells/gであり、とくに定点5のスライムでは、周年にわたり 10^9 cells/gであった。また、夏季の定点6の試料には、*Sphaerotilus*と思われる糸状細菌の群生が見られた。一般に定点あるいは季節による細菌数の変化には、一定の傾向が認められないようである。

各試料には5~21属の珪藻類が出現し、全試料では総数29属が検出された。一般に *Skeletonema*, *Amphora*, *Cymbella*, *Asterionella*, *Nitzschia*, *Rhizosolenia*, *Coscinodiscus* および *Navicula* がよく出現し、とくに *Skeletonema* および *Amphora* は周年にわたって優勢に検出された。また、珪藻類の出現状況には定点による変化はあまり見られなかったが、季節による変遷が認められた。すなわち、秋季および冬季には *Asterionella* あるいは *Rhizosolenia* が、春季には *Thalassiothrix* および *Thalassionema* が多く出現する傾向が見られた。そして夏季には他の季節に比べて珪藻類の種類数が少なく、また *Skeletonema* および *Amphora* を除くと珪藻類の出現頻度は低かったことが特徴である。

Table 1. Bacterial counts and relative abundance of other microorganisms in slime-like substance at various stations in the drainage system of a refinery plant in all seasons.

Organisms	Aug. 26, '71				Nov. 9, '71			Feb. 28, '72		May 29, '72		Aug. 28, '72	
	St.2	St.3	St.5	St.6	St.2	St.5	St.6	St.2	St.5	St.2	St.5	St.5	St.6
Bacteria:													
Total bacteria (cells/g)	3.3 $\times 10^6$	2.4 $\times 10^7$	1.7 $\times 10^9$	8.0 $\times 10^5$	2.2 $\times 10^9$	1.3 $\times 10^9$	1.3 $\times 10^9$	1.0 $\times 10^8$	1.0 $\times 10^9$	6.0 $\times 10^5$	1.2 $\times 10^9$	6.8 $\times 10^8$	2.3 $\times 10^9$
<i>Sphaerotilus</i> sp.				+++++									+++++
Bacillariophyceae:													
<i>Melosira</i> sp.					+						++		
<i>Stephanopyxis</i> sp.					+								
<i>Skeletonema</i> <i>costatum</i>	+++	+++	++++	++	+++	++++	++	++++	++++		+++++	+++++	++
<i>Thalassiosira</i> spp.			+		++	+	+	+	+		++		+
<i>Coscinodiscus</i> spp.			+		++	+	+	+++	+++	+	+++	++	+
<i>Asteromphalus</i> sp.								+					
<i>Lauderia</i> sp.	+				+			+	+				
<i>Guinardia</i> sp.					+	+		+					
<i>Rhizosolenia</i> spp.		+			++++	+	+	+++	++		++		+
<i>Chaetoceros</i> spp.	++	++	++		++	+		++	+		++		+
<i>Eucampia</i> sp.					+								
<i>Ditylum</i> sp.						+							
<i>Hemiaulus</i> sp.					+	+			+			+	
<i>Licmophora</i> sp.					+								
<i>Synedra</i> sp.					+		+				+		
<i>Thalassionema</i> <i>nitzschioides</i>					++	+	+		+		+	++++	
<i>Thalassiothrix</i> spp.					+	+		++	+	++	+++++		+
<i>Asterionella</i> <i>japonica</i>					+++	++	++	+++++	+++++			+	
<i>Cocconeis</i> sp.											+		
<i>Achnanthes</i> sp.													+
<i>Mastogloia</i> sp.							+						
<i>Diptoreis</i> sp.							+	+			+		
<i>Pleurosigma</i> spp.		+			+++	+	++		+		++		
<i>Navicula</i> spp.	+	+	+	+	++	++	+++	+		++	++	+++	+++
<i>Amphora</i> sp.	+		+++	+++++	++++	+++++	+	+	+++++	++	+++++		+
<i>Cymbella</i> sp.				+++	+++	+++++				+	+++		+++++
<i>Amphiprora</i> sp.	+												
<i>Nitzschia</i> spp.	+		++		++	++	++++	+++	++	+++	++		+
<i>Bacillaria</i> sp.						+	+						
Cyanophyceae:													
<i>Oscillatoria</i> spp.	+		+++++	+++++	+++	+++++	+++++	+	+++++	+	+++++	+++++	+++++
<i>Phormidium</i> spp.			++	+++		++	+++	+		+	++++	+++++	+++++
<i>Achroonema</i> spp.					+	++++	++++				+++	+++++	+++
Flagellata:													
<i>Dictyoccha fibula</i>	+	+	+								+++		+
<i>Peridinium</i> sp.											+		
<i>Ceratium</i> sp.	+				+			+		+	+++	+	+
Ciliata:													
<i>Tintinnopsis</i> sp.	+				+				+		+		
<i>Codonellopsis</i> sp.					+	+							
<i>Paramecium</i> sp.		++	+										+

Note: Spp. after the genus names mean that two or over species were contained in all the samples. The frequency in occurrence of organism was graded as follows;

+++++, very abundant.

++++, abundant.

+++ , common.

++ , rare.

+ , very rare.

藍藻類として、*Oscillatoria*, *Phormidium* および *Achroonema* の3属が検出された。そして定点5および6では他の定点に比べて種類数が多く、また出現頻度も高かった。とくに定点5では周年にわたって *Oscillatoria* が優勢に出現し、冬季を除くいずれの季節にも *Phormidium* および *Achroonema* がかなり多く検

Table 2. Bacterial counts and relative abundance of other microorganisms in waste water at various stations in the drainage system of a refinery plant in all seasons.

Organisms	Aug. 26, '71					Nov. 9, '71				Feb. 28, '72			May 29, '72			Aug. 28, '72	
	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.2	St.4	St.5	St.6	St.2	St.4	St.5	St.2	St.4	St.5	St.5	St.6
Bacteria:																	
Total bacteria (cells/ml)	2.0 ×10 ⁶	3.3 ×10 ⁶	9.8 ×10 ⁶	3.7 ×10 ⁶	1.9 ×10 ⁵	8.9 ×10 ⁴	9.1 ×10 ⁵	1.8 ×10 ⁶	8.3 ×10 ⁵	1.1 ×10 ⁵	7.6 ×10 ⁴	8.8 ×10 ⁴	2.0 ×10 ²	7.3 ×10 ⁴	6.0 ×10 ³	8.0 ×10 ⁵	1.4 ×10 ⁶
Bacillariophyceae:																	
<i>Melosira</i> sp.							+	++			+		+	++			+
<i>Stephanopyxis</i> sp.										+							
<i>Skeletonema costatum</i>	++	++	++	+++	+++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++		+	+	++++	++++
<i>Thalassiosira</i> spp.				+		++	+	+	++				+		+		
<i>Coscinodisus</i> spp.				+	+	+	++	++		+++	++++	++++	+	++	++	++	++
<i>Asteromphalus</i> sp.								+			+						
<i>Lauderia</i> sp.						+	+	+		+	+	+					
<i>Guinardia</i> sp.								+	+								
<i>Rhizosolenia</i> spp.	+			+		+	++	+	+	++	++	++++					
<i>Chaetoceres</i> spp.		+	++	++	+	+	++	+++		+	++	+++				+	++
<i>Eucampia</i> sp.										+	+	++					
<i>Ditylum</i> spp.						+	+	+	+	+		++					
<i>Biddulphia</i> sp.							+	+	+			+					
<i>Hemiaulus</i> sp.						+	+	+	+	++		++					
<i>Licmophora</i> sp.													+				
<i>Synedra</i> sp.		+				+						+					
<i>Thalassionema nitzschioides</i>						+	+	++	++		+	+	+		+	++	+
<i>Thalassiothrix</i> spp.				+	+		+	+	+	+	+	++		+			++
<i>Asterionella japonica</i>						+++	++	++	++	++++	++++	++++					
<i>Cocconeis</i> sp.																	+
<i>Achnanthes</i> sp.																	+
<i>Diploneis</i> sp.								+	+	+	+		+				
<i>Pleurosigma</i> spp.						+	+	+	+	+	+	+			++		+
<i>Navicula</i> spp.	+					+	+	+	+	++	+	++	+	+	+		+
<i>Amphora</i> sp.		+		+	+			+			+	+					
<i>Nitzschia</i> spp.		++	+	+	+	++	++	++	++	+++	++	++	+			+	+
<i>Bacillaria</i> sp.								+									
Cyanophyceae:																	
<i>Oscillatoria</i> spp.				++		+	+++	+++		+			++	+++			+
<i>Phormidium</i> sp.				+		+							+	+			
<i>Achroonema</i> sp.													+				
Flagellata:																	
<i>Dictyocha fibula</i>		+		+				+	+	+			++	++		+++	+++
<i>Prorocentrum</i> sp.							+									+	+
<i>Dinophysis</i> sp.													+	++			
<i>Pyrophacus horologicum</i>								+	+								
<i>Peridinium</i> sp.		+				+	+	+	+		+		+			+	
<i>Ceratium</i> spp.	+							+		+			++	+++		++	+
Ciliata:																	
<i>Tintinnopsis</i> sp.								+								++	+
<i>Codonellopsis</i> sp.								+						+			+

Note: Spp. after the genus names mean that two or over species were contained in all the samples. The frequency in occurrence of organism was graded as follows;

+++++, very abundant.

++++, abundant.

+++ , common.

++ , rare.

+ , very rare.

出された。藍藻類の出現状況は珪藻類の場合とやや異なり、とくに夏季に減少する傾向は認められなかった。

その他、鞭毛藻類として *Dictyocha*, *Ceratium* および *Peridinium* の 3 属が、繊毛虫類として *Tintinnopsis*, *Codonellopsis* および *Paramecium* の 3 属が検出されたが、春季に定点 5 の試料のみに *Dictyocha* および *Ceratium* がやや多く出現したほかは、一般に出現頻度は低かった。

Table 3. Bacterial counts and relative abundance of other microorganisms in industrial water at two stations in a refinery plant in all seasons.

Organisms	Aug. 26, 71		Nov. 9, 71		Feb. 28, 72		May 29, 72		Aug. 28, 72	
	St.1		St.0	St.1	St.0	St.1	St.0	St.1	St.0	St.1
Bacteria: Total bacteria (cells/ml)	4.5 ×10 ⁵		2.6 ×10 ⁴	2.2 ×10 ⁵	9.1 ×10 ⁴	3.2 ×10 ⁵	5.2 ×10 ⁵	1.8 ×10 ³	4.6 ×10 ⁵	2.3 ×10 ²
Bacillariophyceae:										
<i>Melosira</i> sp.				+		+				
<i>Skeletonema</i> <i>costatum</i>	+++		++++	++++	+++	+++++	+++	+++	+++	+++
<i>Thalassiosira</i> spp.			+	++			++			
<i>Coccinodiscus</i> spp.			++	+++	++	+++	++	++		+
<i>Rhizosolenia</i> spp.	+		++	+++	++	++++	+	+	+	
<i>Chaetoceros</i> spp.	++		++	++	++	++++	+	+		+
<i>Eucampia</i> sp.					++	+				
<i>Ditylum</i> spp.			+	++						
<i>Biddulphia</i> sp.				+		+				
<i>Hemiaulus</i> sp.				+	+	+				
<i>Synedra</i> sp.				+		+				
<i>Thalassionema</i> <i>nitzschioides</i>			+	+++						
<i>Thalassiothrix</i> sp.			+	+	+	+	+			
<i>Asterionella</i> <i>japonica</i>			+++	+++	+++++	+++++				
<i>Diploneis</i> sp.			+	+	+					
<i>Pleurosigma</i> sp.			+	+		+				
<i>Navicula</i> spp.			+	+		+	+		+	
<i>Amphora</i> sp.			+							
<i>Nitzschia</i> spp.	+		+++	+++	++	++	++	+	+	+
Cyanophyceae:										
<i>Oscillatoria</i> sp.						+				+
Flagellata:										
<i>Dictyocha</i> <i>fibula</i>	+			+		++		++		+
<i>Peridinium</i> sp.						+				
<i>Ceratium</i> sp.								++		
Ciliata:										
<i>Tintinnopsis</i> sp.			+	+			+			

Note: Spp. after the genus names mean that two or over species were contained in all the samples. The frequency in occurrence of organism was graded as follows;

+++++, very abundant.

++++, abundant.

+++ , common.

++ , rare.

+ , very rare.

2. 廃水中の細菌および微小生物

廃水中の細菌数および微小生物の出現状況を一括して、第2表に示す。また、出現した生物の顕微鏡写真を付図IV, V, VIおよびVIIに掲げた。

第2表から、廃水中の細菌および微小生物の出現状況は定点あるいは季節によって異なる場合があるが、おおむね次のようである。

廃水中の細菌数は $10^2 \sim 10^6$ cells/mlで、大半が $10^5 \sim 10^6$ cells/mlであり、スライム1gあたりの細菌数の1/1000程度であった。そして定点による変化はあまり見られなかったが、季節による変遷が認められた。すなわち、定点5の廃水中の細菌数は夏季および秋季で $10^5 \sim 10^6$ cells/mlであるのに比べ、冬季および春季では $10^3 \sim 10^4$ cells/mlで、前者の約1/100であった。

各試料には2~20属の珪藻類が存在し、全試料では総数27属が検出された。一般に *Skeletonema*, *Asterionella*, *Coscinodiscus*, *Rhizosolenia* および *Nitzschia* がよく検出され、とくに *Skeletonema* が春季を除くすべての季節で、また *Asterionella* および *Coscinodiscus* が冬季に多く出現した。そしてスライム中の珪藻類の場合と同じように、定点による珪藻類の出現状況の変化には一定の傾向は認められなかったが、夏季および春季には、秋季および冬季に比べて珪藻類の種類数が少なく、また *Skeletonema* を除くとおおむね出現頻度も低かった。

藍藻類として、*Oscillatoria*, *Phormidium* および *Achroonema* の3属が検出され、とくに *Oscillatoria* はかなり多くの試料に出現した。そして廃水中ではスライム中に比べて、藍藻類の出現頻度は低かった。

鞭毛藻類として、*Dictyocha*, *Ceratium*, *Peridinium*, *Pyrophacus*, *Protocentrum* および *Dinophysis* の6属が検出され、これらの種属のうち定点5では *Dictyocha* が周年にわたって検出され、また *Ceratium* が春季に多く出現した。そして廃水中にはスライム中よりも、一般に鞭毛藻類の種類数が多く、また出現頻度も高かった。

その他繊毛虫類として、*Tintinnopsis* および *Codoneopsis* の2属がわずかながら検出された。

なお、春季の定点2の試料中に細菌および微小生物の出現がきわめて少ないのは、もともとこの廃水中にこれらの生物が存在しなかったのではなく、そのpHが12.5と高いので、多くの生物が死滅したためであろうと推定される。

3. 用水中の細菌および微小生物

用水中の細菌数および微小生物の出現状況を一括して、第3表に示す。また、出現した生物の顕微鏡写真を付図VIIIおよびIXに掲げた。

第3表から、用水中の細菌および微小生物の出現状況は定点あるいは季節によって異なる場合があるが、おおむね次のようである。

用水中の細菌数は $10^2 \sim 10^5$ cells/mlで、ほとんどが $10^4 \sim 10^5$ cells/mlであり、廃水中の細菌数の1/10程度であった。定点1の試料で春季および夏季に $10^2 \sim 10^3$ cells/mlの低い値が見られたが、これは季節的变化とは考えられず、むしろ自然海水を汲み上げた後に行われた塩素滅菌処理による影響を受けたものと思われる。細菌数については、定点あるいは季節による変化に一定の傾向が認められないようである。

各試料には4~17属の珪藻類が出現し、全試料では総数19属が検出された。一般に *Skeletonema*, *Asterionella*, *Coscinodiscus*, *Rhizosolenia*, *Chaetoceros* および *Nitzschia* がよく出現し、とくに *Skeletonema* が周年にわたり、また *Asterionella*, *Rhizosolenia* および *Coscinodiscus* が秋季および冬季に多く検出された。そして定点による珪藻類の出現状況の変化はほとんど認められなかったが、夏季および春季には秋季および冬季に比べて珪藻類の種類数が少なく、また *Skeletonema* を除くと出現頻度も低かった。

その他、藍藻類として *Oscillatoria* の1属が、鞭毛藻類として *Dictyocha*, *Peridinium* および *Ceratium* の3属が、また繊毛虫類として *Tintinnopsis* の1属が、いずれもわずかに検出されたにすぎない。

用水中の微小生物の出現状況は、スライム中および廃水中の場合に比べて一般に種類数が少なく、また出現頻度も低かった。

考 察

第1表から明らかのように、石油工場の廃水中に形成されるスライムには、いずれも多数の細菌およびかなり多くの種類数あるいは出現頻度の珪藻類、藍藻類、鞭毛藻類などの微小生物が存在することがわかった。これらの生物のうち存在量の多い細菌、珪藻類および藍藻類は、スライムの形成に重要な役割を果たしていると考えられる。とくに細菌では *Sphaerotilus* が、珪藻類では *Skeletonema* および *Amphora* が、藍藻類では *Oscillatoria* および *Phormidium* がスライムの形成の主役であると考えられる。鞭毛藻類および繊毛虫類は細菌、珪藻類および藍藻類に比べて存在量が少ないので、スライムの形成に重要な役割を果たしているとは考えられない。

スライムは綿毛状を呈するが、この形状にはこれらの生物のうち、長さの長い *Oscillatoria*, *Phormidium* などの藍藻類、あるいは糸状細菌である *Sphaerotilus* が大きく影響していると考えられる。またスライムが緑色を示すことがあるが、この呈色には *Oscillatoria* が主因となっていることは、検鏡の結果からも明らかである。そしてスライムが褐色を帯びることには *Phormidium* が、また灰色の呈色には *Sphaerotilus* が、いずれも大きく影響していると考えられる。さらにスライムが粘稠性を帯びることにも、細菌および藍藻類が主役であろう。

珪藻類のスライムの形成に果たす役割については、スライムの形状、呈色、粘稠性などの性状から考えると、出現量が多いので無視できないが、藍藻類および細菌のようには大きくないようにはうかがわれる。

第2表から、廃水中にもスライム中と同じように細菌および種々の微小生物が存在し、しかも珪藻類および藍藻類のそれぞれの優勢種はスライム中の微小生物の組成とかなりよく一致し、さらに第3表から、廃水中よりは少ないが用水中にもかなりの細菌および微小生物が存在し、しかも用水中の珪藻類、とりわけその優勢種は廃水中の場合とほとんど出現状況が一致していることがわかった。

これらのことから、スライム中および廃水中に存在する細菌および微小生物の来源は、明らかに用水、すなわち自然海水であると考えられる。

前報¹⁾の化学的調査結果と本報の生物学的調査結果を合わせて考察すると、石油工場の廃水中のスライムの形成機構は、おおむね次のように推定される。

すなわち、用水(自然海水)に由来する細菌および珪藻類、藍藻類などの微小生物が廃水中に移行し、これらの生物が富栄養の廃水中で主としてコンクリート壁、パイプ表面などの基質およびその他の固形物に付着して、あるいはそのまま浮遊しながら増殖すると共に、細菌および藍藻類が分泌する粘着物質などによってさらに浮遊物(細菌、微小生物および無生物)をからませたり、これらが互いにからみ合ったりして次第に増大し、種々の色調をもった綿毛状あるいは膜状の粘稠性を帯びたスライムが形成されるものと考えられる。

なお、スライムの形成過程においては、鈴木ら³⁾が冷却水中のスライムの形成について述べているように、単に微生物の増殖ということのほかに着床という現象が重要であると考えられる。本研究では、細菌および微小生物の着床あるいは付着の順序について詳細な観察はしなかったが、藍藻類の着生および珪藻類の群生について種々の状態が観察されたことから(付図ⅠおよびⅡ)、着床あるいは付着という現象は、スライムの形成に重大な要因となることがうなずける。さらに付着の状態について、藍藻類の *Phormidium* および *Oscillatoria* に糸状細菌の *Sphaerotilus* が多く着生している状態、あるいは *Oscillatoria* の群生の間に珪藻類が多く存在する状態が観察された(付図Ⅲ)。これらのことから、生物相互間のからみ合いもスライムの形成の一要因であろうと思われる。またスライム中には、細菌および微小生物のほかに油球およびその他の無生

物も多く含まれていることが観察されたので、これらの生物と無生物との相互関係も重要であると考えられる。なお、スライムの形成にはその他の複雑な要因が考えられる。たとえば、廃水の流れがコンクリート壁あるいはパイプでせき止められて、渦流を生じ、流れがゆるやかになった個所に浮遊物(生物および無生物)がたまりやすくなること、および浮遊物質相互間の物理的、化学的結合などが想定されるが、ここではこれらの要因については言及せず、主として生物学および一般的環境因子の面からのみ考察した。

要 約

石油精製工場の廃水中に形成されるスライムの実態および生成の要因を明らかにする目的で、四季にわたって種々のスライム、廃水および用水中に存在する細菌および珪藻類、藍藻類、鞭毛藻類などの微小生物の出現状況について調べ、次に示す結果を得た。

1. スライム中の細菌および微小生物の出現状況は、定点あるいは季節によって異なる場合があるが、いずれの試料にもかなり多くの種類あるいは量の細菌、珪藻類および藍藻類が出現し、また鞭毛藻類および繊毛虫類がわずかながら検出された。

2. スライム中に存在した細菌および微小生物のうち、存在量の多い細菌、珪藻類および藍藻類はスライムの形成に重要な役割を果たしており、とくに細菌では *Sphaerotilus* が、珪藻類では *Skeletonema* および *Amphora* が、藍藻類では *Oscillatoria* および *Phormidium* が、それぞれスライムの形成の主役であると考えられる。そしてこれらの生物のスライムの形状、呈色および粘稠性に及ぼす影響から考えると、スライムの形成には、藍藻類および細菌が珪藻類よりも大きい役割を果たしているものと思われる。

3. 廃水中にもスライム中と同じように、かなり多くの種類あるいは量の細菌、珪藻類および藍藻類が出現し、また鞭毛藻類および繊毛虫類も検出された。そして廃水中にはスライム中に比べて藍藻類の出現頻度が低く、さらに鞭毛藻類の種類数が多く、またその出現頻度も高かった。

4. 用水中の細菌および微小生物の出現状況は、廃水中の場合に比べて一般に種類数が少なく、また出現頻度も低かったが、かなり多くの種類あるいは量の細菌および珪藻類が出現し、さらに藍藻類、鞭毛藻類および繊毛虫類もわずかながら検出された。

5. 用水中にも、廃水中およびスライム中より種類あるいは量は少ないが、同じように細菌および微小生物が出現することがわかった。このことから、スライム中および廃水中に存在するこれらの生物の来源は明らかに用水、すなわち自然海水であると考えられる。

スライム、廃水および用水についての生物学的調査結果と化学的調査結果を合わせて考えると、石油工場の廃水中のスライムの形成機構はおおむね次のように推定される。すなわち、用水(自然海水)に由来する細菌および珪藻類、藍藻類などの微小生物が廃水中に移行し、これらの生物が富栄養の廃水中で主としてコンクリート壁、パイプ表面などの基質およびその他の固形物に付着して、あるいはそのまま浮遊しながら増殖すると共に、細菌および藍藻類が分泌する粘着物質などによってさらに浮遊物(細菌、微小生物および無生物)をからませたり、これらが互いにかみ合ったりして、次第に増大し、種々の色調をもった綿毛状あるいは膜状の粘稠性を帯びたスライムが形成されるものと考えられる。

終わりに、微小生物の分類および取りまとめについて懇切なご指導を戴いた本校鶴田新生教授に心から感謝の意を表す。また、微小生物の同定について有益なご教示を戴いた京都大学梅崎 勇助教授、東海区水産研究所高野秀昭研究室長、東京理科大学鈴木静夫助教、本校故尾形英二教授の諸氏に深謝する。なお、本実験に協力された本校水産微生物学研究室卒論学生吉井正幸および清水克実の両君に謝意を述べる。

文 献

- 1) 藤沢浩明・村上正忠, 1973: 本報告, 22, 29~38.
- 2) MORITA, R. and C. E. ZOBELL, 1955: *Deep-Sea Res.*, 3, 66~73.
- 3) 鈴木静夫・辰野高亘, 1968: 冷却水の障害と処理, 98~100, コロナ社, 東京.

PLATE

Explanation of Plates

Photomicrographs of microorganisms (Bacillariophyceae, Cyanophyceae, Flagellata and Ciliata) found in the slime, the waste water and the industrial water at various stations in a refinery plant in the four seasons.

Scale bar in all the plates indicates 50 μ .

PLATE I

- Fig. 1. *Amphora* sp. found in the slime at Station 5 in spring.
- Fig. 2. *Amphora* sp. found in the same sample at Station 5 in spring.
- Fig. 3. *Cymbella* sp. found in the same sample at Station 5 in autumn.
- Fig. 4. *Skeletonema costatum* found in the same sample at Station 2 in winter.
- Fig. 5. *Amphora* sp. and *Thalassiothrix* sp. found in the same sample at Station 5 in spring.
- Fig. 6. *Amphora* sp. and *Asterionella japonica* found in the same sample at Station 5 in autumn.

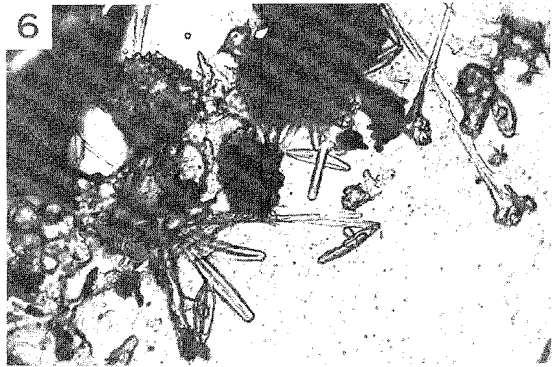
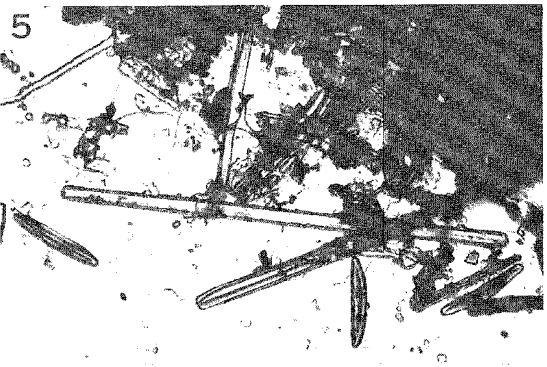
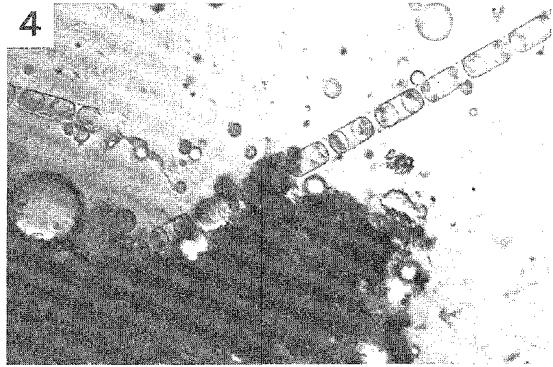
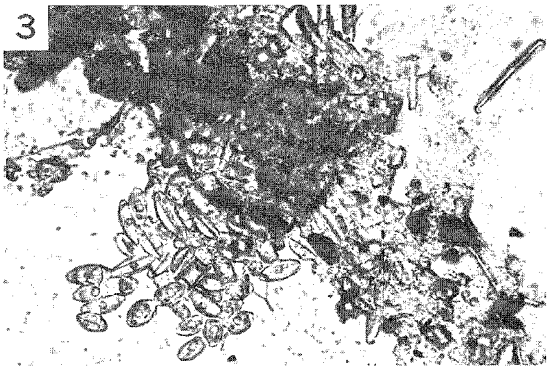
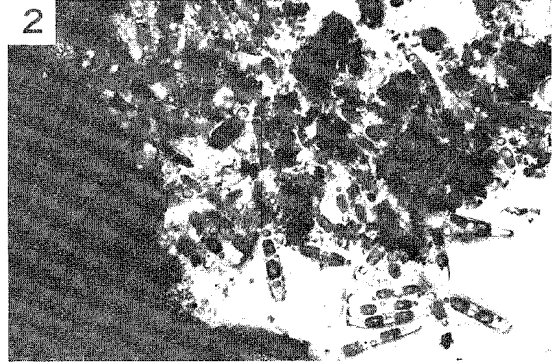


PLATE II

- Fig. 7. *Oscillatoria* sp. found in the slime at Station 5 in autumn.
- Fig. 8. *Phormidium* sp. found in the same sample at Station 6 in summer.
- Fig. 9. *Oscillatoria* sp. and *Phormidium* sp. found in the same sample at Station 6 in autumn.
- Fig. 10. *Achroonema* sp. found in the same sample at Station 5 in spring.
- Fig. 11. *Achroonema* sp., *Oscillatoria* sp. and bacteria found in the same sample at Station 5 in summer.
- Fig. 12. *Oscillatoria* sp. and *Achroonema* sp. found in the same sample at Station 5 in summer.

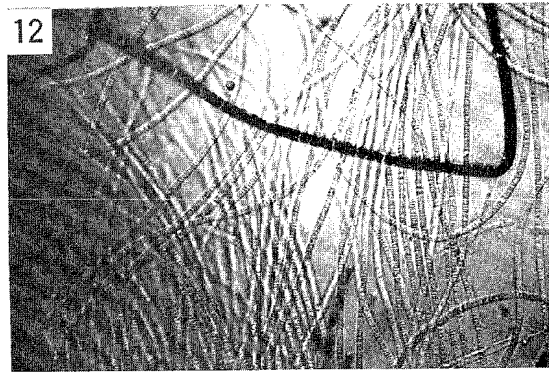
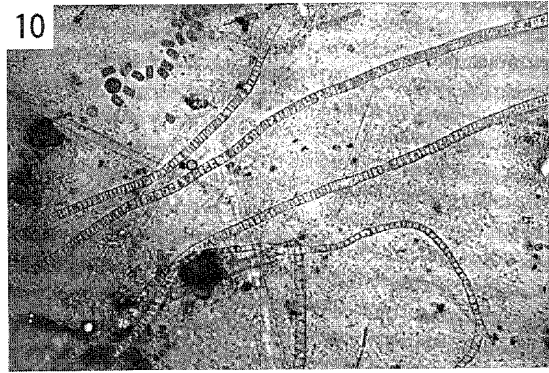


PLATE III

- Fig. 13. *Phormidium* sp. entwined with *Sphaerotilus* sp. in the slime at Station 6 in summer.
- Fig. 14. *Oscillatoria* sp. entwined with *Sphaerotilus* sp. in the same sample at Station 6 in summer.
- Fig. 15. *Amphora* sp. caught in *Oscillatoria* sp. in the same sample at Station 5 in winter.
- Fig. 16. *Coscinodiscus* sp. caught in *Oscillatoria* sp. in the same sample at Station 5 in winter.
- Fig. 17. *Chaetoceros* sp. caught in *Oscillatoria* sp. in the same sample at Station 5 in winter.
- Fig. 18. *Asterionella japonica* and *Amphora* sp. caught in *Oscillatoria* sp. in the same sample at Station 5 in winter.

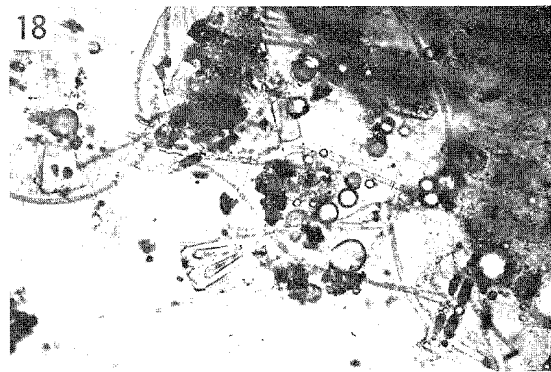
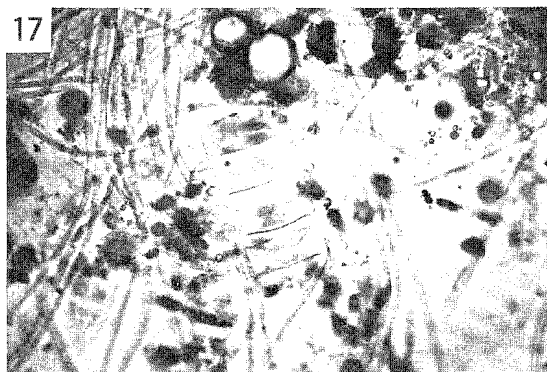
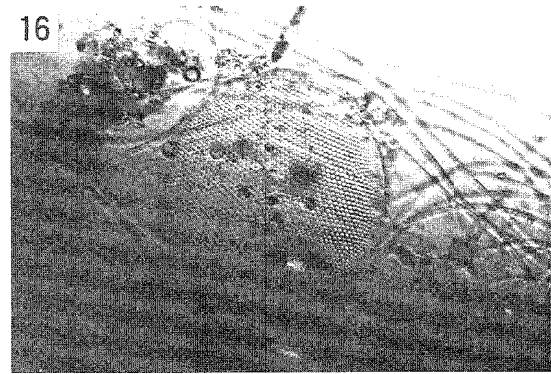
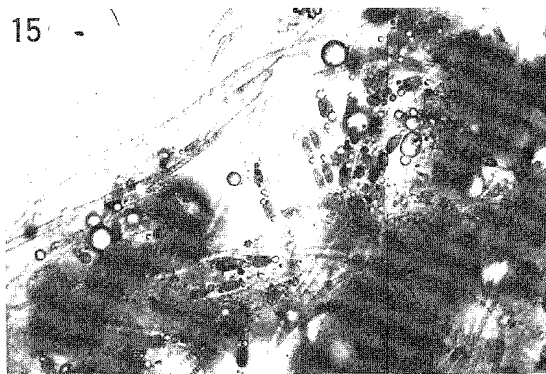
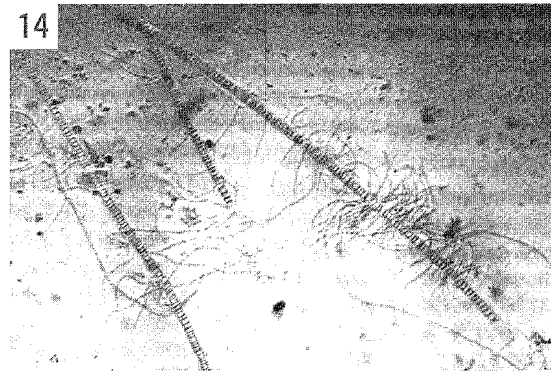


PLATE IV

- Fig. 19. *Skeletonema costatum* found in the waste water at Station 2 in autumn.
- Fig. 20. *Rhizosolenia* sp. found in the same sample at Station 2 in autumn.
- Fig. 21. *Thalassiothrix* sp. found in the same sample at Station 2 in winter.
- Fig. 22. *Pleurosigma* sp. and *Asterionella japonica* found in the same sample at Station 2 in autumn.
- Fig. 23. *Rhizosolenia* sp. and *Asterionella japonica* found in the same sample at Station 4 in winter.
- Fig. 24. *Chaetoceros* sp. found in the same sample at Station 4 in winter.

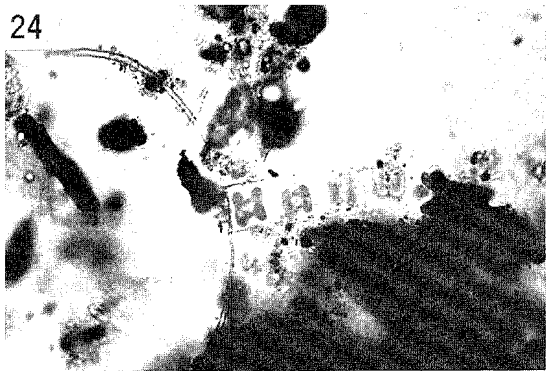
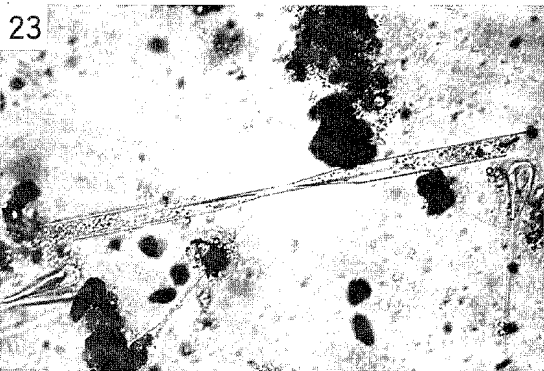
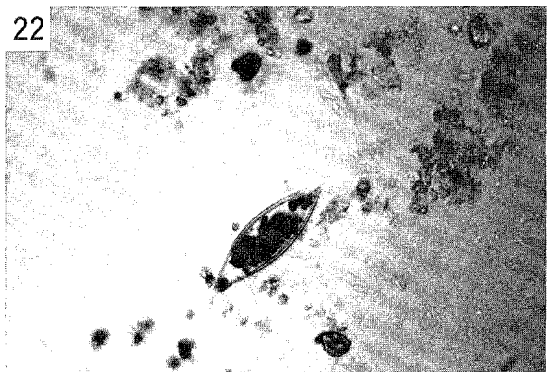


PLATE V

- Fig. 25. *Hemiaulus* sp. found in the waste water at Station 4 in autumn.
- Fig. 26. *Dictyocha fibula* found in the same sample at Station 4 in winter.
- Fig. 27. *Ceratium* spp. found in the same sample at Station 4 in spring.
- Fig. 28. *Dinophysis* sp. found in the same sample at Station 4 in spring.
- Fig. 29. *Skeletonema costatum*, *Nitzschia* sp., *Rhizosolenia* sp. and *Asterionella japonica* found in the same sample at Station 5 in winter.
- Fig. 30. *Skeletonema costatum*, *Ditylum* sp. and *Asterionella japonica* found in the same sample at Station 5 in winter.

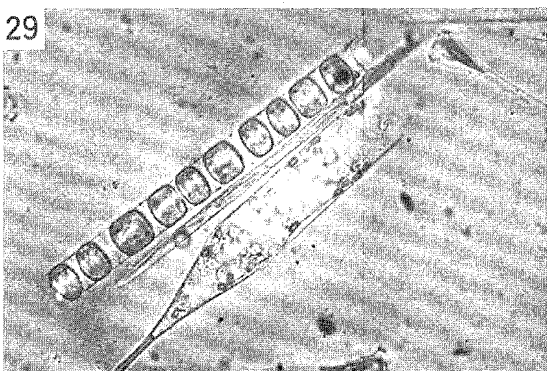
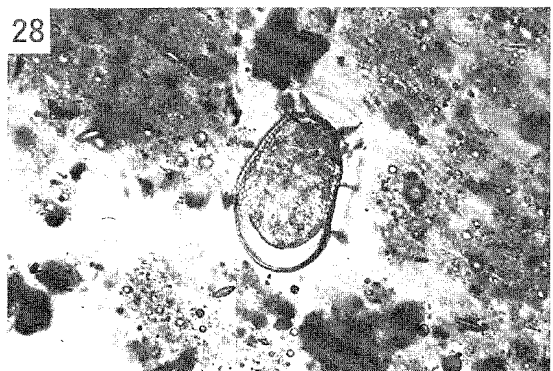
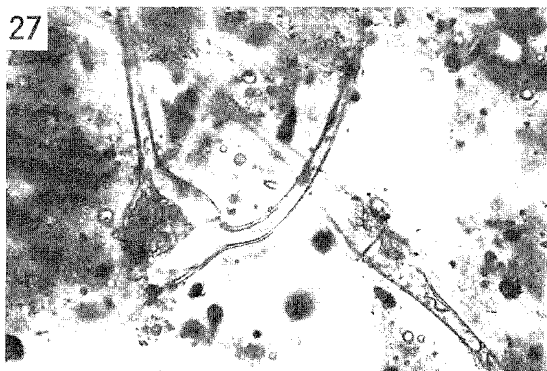
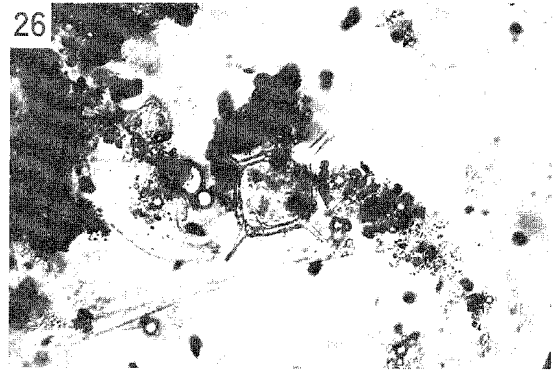
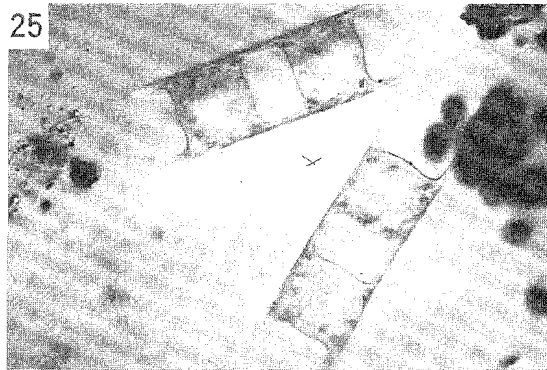


PLATE VI

- Fig. 31. *Coscinodiscus* sp. found in the waste water at Station 5 in winter.
- Fig. 32. *Coscinodiscus* sp. and *Asterionella japonica* found in the same sample at Station 5 in winter.
- Fig. 33. *Skeletonema costatum*, *Rhizosolenia* sp. and *Asterionella japonica* found in the same sample at Station 5 in winter.
- Fig. 34. *Codonellopsis* sp. found in the same sample at Station 5 in spring.
- Fig. 35. *Tintinnopsis* sp. found in the same sample at Station 6 in autumn.
- Fig. 36. *Thalassiosira* sp. found in the same sample at Station 6 in autumn.

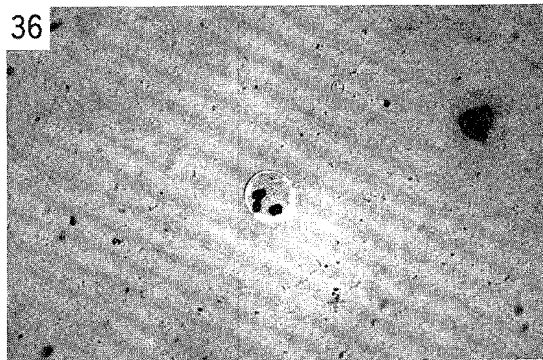
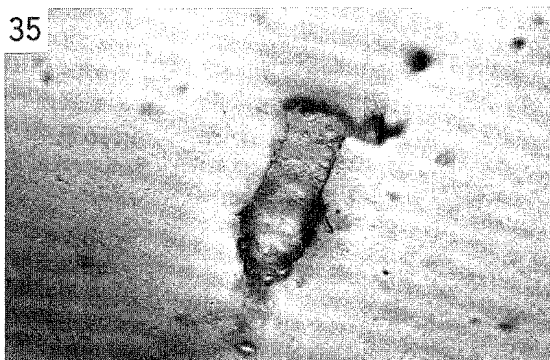
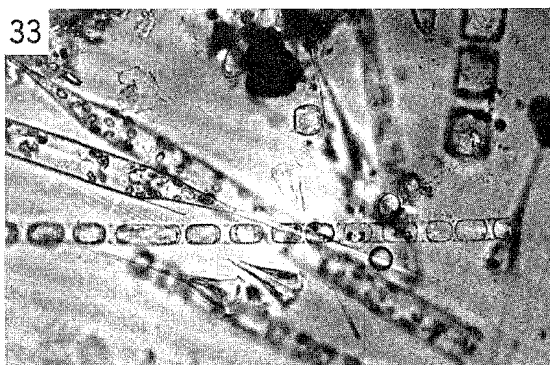
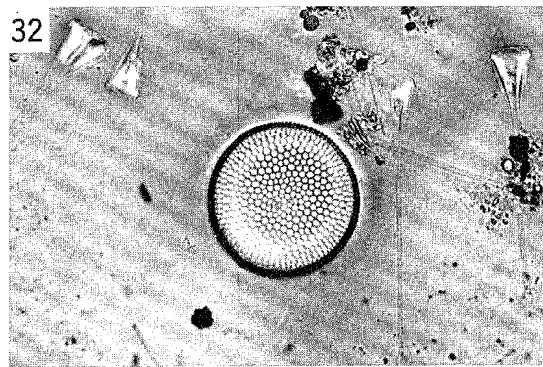
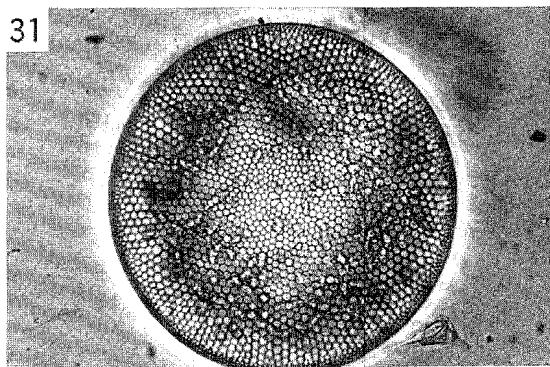


PLATE VII

- Fig. 37. *Chaetoceros* sp. found in the waste water at Station 6 in autumn.
- Fig. 38. *Chaetoceros* sp. found in the same sample at Station 6 in summer.
- Fig. 39. *Navicula* sp. found in the same sample at Station 6 in autumn.
- Fig. 40. *Eucampia* sp. found in the same sample at Station 6 in autumn.
- Fig. 41. *Melosira* sp. found in the same sample at Station 6 in autumn.
- Fig. 42. *Peridinium* sp. found in the same sample at Station 6 in autumn.

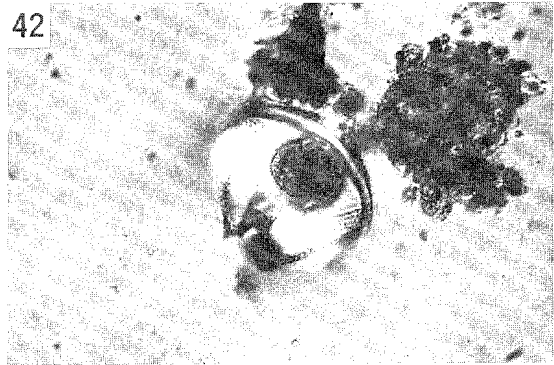
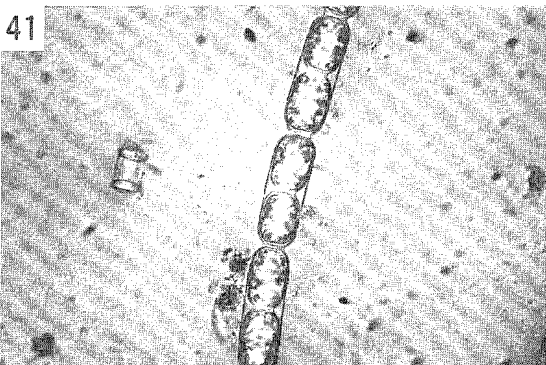
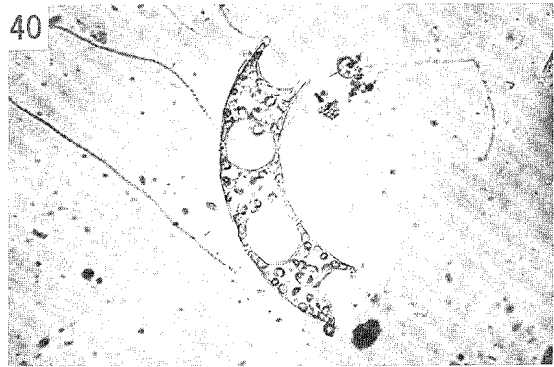
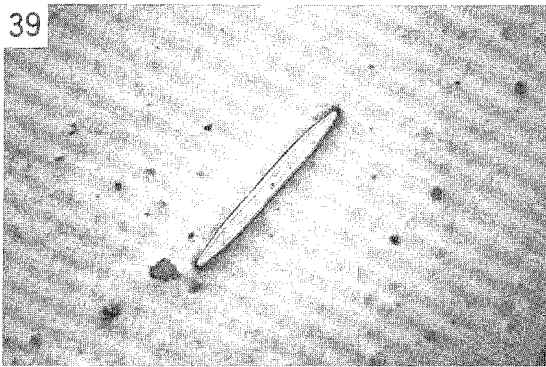
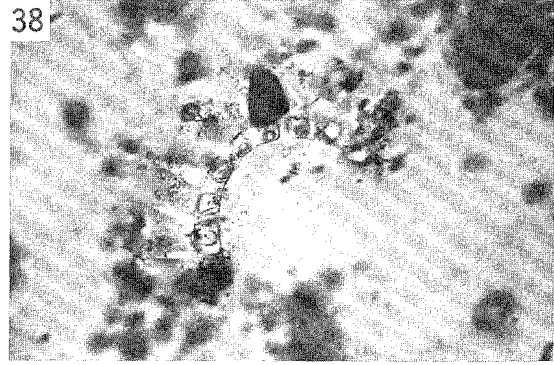
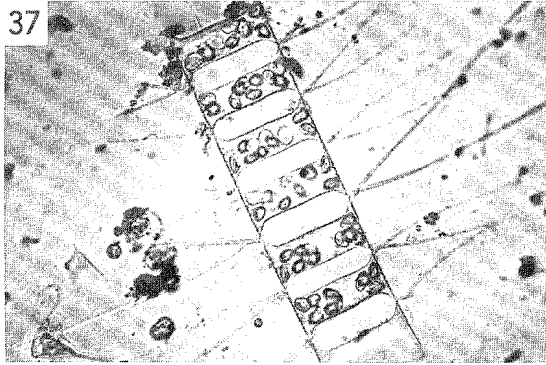


PLATE VIII

Fig. 43. *Asterionella japonica* found in the industrial water at Station 0 in winter.

Fig. 44. *Nitzschia* sp. found in the same sample at Station 0 in winter.

Fig. 45. *Ditylum* sp. found in the same sample at Station 0 in autumn.

Fig. 46. *Biddulphia* sp. found in the same sample at Station 0 in autumn.

Fig. 47. *Rhizosolenia* sp. and *Skeletonema costatum* found in the same sample at Station 0 in autumn.

Fig. 48. *Coscinodiscus* sp. (side view) found in the same sample at Station 0 in autumn.

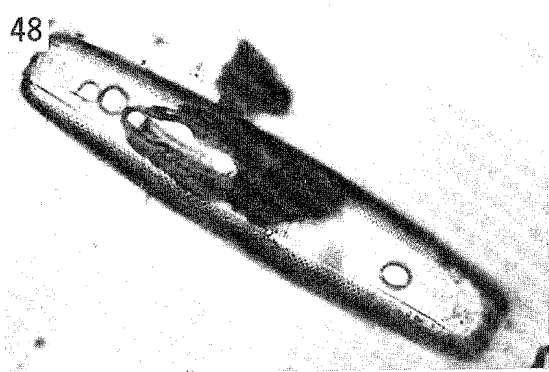
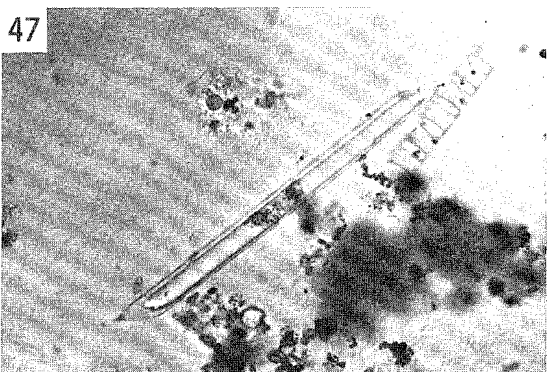
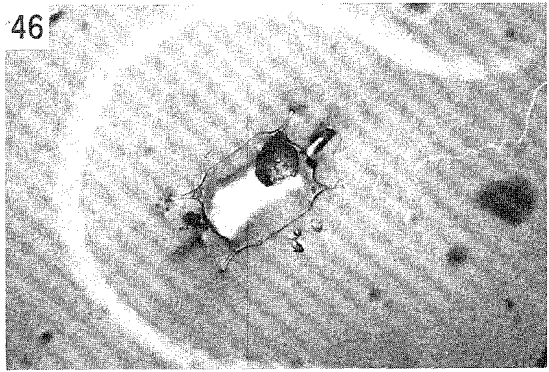
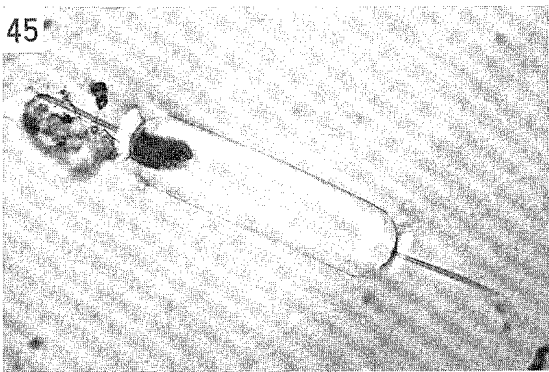
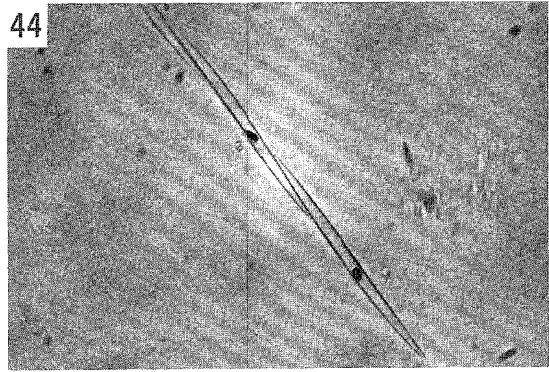
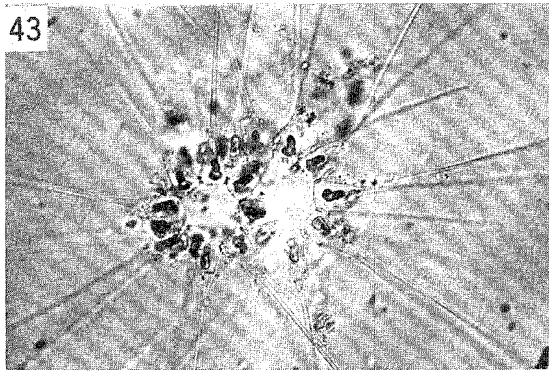


PLATE IX

- Fig. 49. *Skeletonema costatum* and *Asterionella japonica* found in the industrial water at Station 1 in winter.
- Fig. 50. *Rhizosolenia* sp. and *Asterionella japonica* found in the same sample at Station 1 in winter.
- Fig. 51. *Chaetoceros* sp. found in the same sample at Station 1 in summer.
- Fig. 52. *Coscinodiscus* sp. found in the same sample at Station 1 in winter.
- Fig. 53. *Thalassionema nitzschioides* and *Skeletonema costatum* found in the same sample at Station 1 in autumn.
- Fig. 54. *Pleurosigma* sp. found in the same sample at Station 1 in autumn.

