



海水を使う機器における最近の 生物汚損対策

川 辺 允 志*

Advancement of Control for Marine Biofouling

Atsushi KAWABE

我々人間の必要から海水を取水し、原料にしたり冷却水にしたりしているが、その歴史の当初から生物「汚損」に悩まされ続けてきている。しかし、「汚損」は人間の側から見て、人間の目的を阻害されるから汚損というのである。しかし、人間の目的のために取水される海水中にしか生存できない生物にとつては、どういうことなのだろうか？ あまりにも我々は、人間の立場でしか現象を見ていないのではなかろうか？ そういう反省にたつて、ここでは仮に生物の立場に身をおけば、どういうことになるのか考えてみたい。そこから、我々の気付かなかつたアイデアも生まれるのではなかろうか？

汚損生物には、我々が肉眼でその親を見ることのできる大型汚損生物と、肉眼では見えない微生物を主体とするスライムとがある。

大型汚損生物にはたくさんの種類があるが、ここではその付着厚みが大きく、それが脱落すれば脱落したで塊となつて下流へ流れこみ、閉塞等の問題をおこす最悪の汚損生物であるムラサキガイに代表者になつてもらおう。

1. 大型汚損生物

1.1 ムラサキガイの自己紹介

漱石にならえば「我輩はムラサキガイである。別の名はムール貝である。」(図1)

ムラサキガイのムラサキは殻が紫を帯びていることに由来する。ムラサキガイといつても首をかしげられる方も、最近のグルメばかりから、仏料理店や今を時めく地中海料理店で、皿の上に堂々とのつているムール貝を賞味されたことは多分おありだろう。

日本では、古来貝は生のままたべられたり、生のままみそ汁や澄まし汁に入れられたりし、仏料理のように手のこんだ貝料理の習慣はなかつた。そのお陰で、我々は現在の繁栄を謳歌できているというわけである。という

のは、我々は人間ののどを通る時にコチョコチョと刺激を与えてやるため、人間はえぐ味があるといつて、日本古来の貝の料理法では、食べることができないからである。しかし、最近では仏料理のテキストも多く出て、我々をいつたんゆでてから、その汁を捨てて、もう一度味付けを行えば、結構食べられるということがボツボツ認識され始めてきたので、我々も安閑とはしていられなくなりそうである。現に佐渡に住んでいる同胞は、6~8 cm になると、ゴソッと人間に生け捕りされ、志摩の英虞湾に運ばれる。そこでかごの中で腹一杯好物のプランクトンを食べさせてくれるのはいいのだが、丸々と肥つたころ料理店へ運ばれ、人間の胃袋へ入るという運命を辿っている。ただ毒を持つたプランクトンが繁殖してく

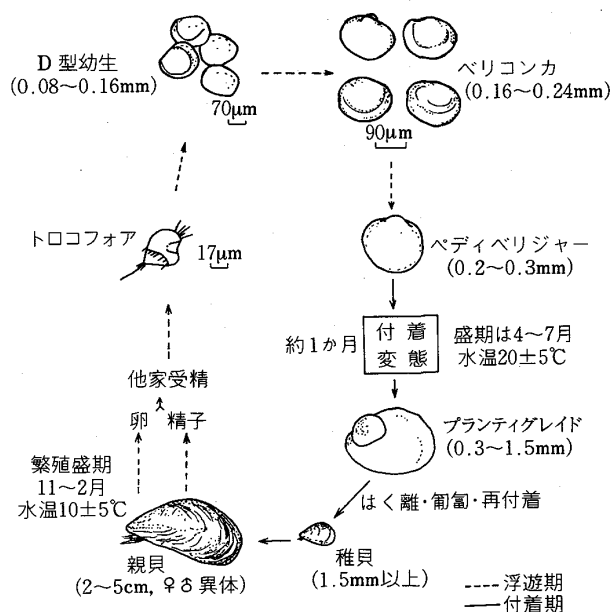


図1 ムラサキガイの生活史

昭和 61 年 9 月 11 日受付 (Received Sep. 11, 1986) (依頼解説)

* 栗田工業(株)水処理装置本部長付参予 (Kurita Water Industries, Ltd., 2-15-1 Kitahama Higashi-ku Osaka 541)

Key words: biofouling; macrofouling; microfouling; fouling organisms; biofilm; slime; bacteria; settlement; microbial adhesion; development; particle distribution; friction loss; control measure.

れた時だけは、自己防衛のため、その毒を体内に蓄積し、出荷停止の間延命できるだけである。

とにかく人間の食物にされると、我々の繁殖を上回って生け捕りされるのが世のならい故、我々の最も恐れるのは食物として普及することである。

しかし、何分我々は日本人にとっては昭和に入ってから新参者であり、食物として定着するのはまだだいぶ先のことであろう。

1.2 親貝の天敵

人間の食道楽からは逃れえたとしても、我々を狙っているものは海の中にもたくさん存在している。そのうちの強敵はウニである。ウニには我々はおろか、あのしつかりと基盤に付着しているフジツボでも食われてしまう。しかし、幸いなことに、ウニは人間の好物で、食用として乱獲気味にあるため、我々がウニに遭遇することは滅多にない。

もう一つ最近注目を浴びてきたのがロブスターである。しかし、これも幸いなことに日本には住んでおらず、今のところは安心しておれる。ロブスターはアメリカ東海岸から生きたまま空輸されてきており、一尾 1000 円以上と高価なのに目をつけた学者が、その種苗生産に取

り組んでおられるのには困ったもので、実際の発電所の取水路でのテストも試みられるようになった。これが成功すれば、人間にとっては養殖との一石二鳥というわけである。

1.3 幼生発生阻害

身の上話をしているうちに私は満 1 才に近付き、一人前の大人として成熟することができ、まもなく産卵を始める時期となつた。

しかし、人間界では最近ではバイオばやりで、遺伝子工学も盛んとなり、そのうちに不妊ホルモンとか、産卵阻害ホルモンとか、受精阻害ホルモンとかが発明されて、我々にふりかけられるのではないかと心配である。

また、運よく受精して幼生となつても、変態を阻害される薬品が発明されたりしたらいへんである。

幼生は、最初は 100 μm ならずと体も小さく、魚等の餌として多くの仲間が食べられてしまう。ここを人間が狙って、我々の天敵を繁殖させるということを考え出さないか心配である。

1.4 幼生の通行止め

しかし、私は運よく生き延び、順調に進化して、浮遊期最後の着生期の幼生となつた。しかし、喜んでばかり

表 1 大型汚損生物の一生からみた防汚対策一覧表

大型汚損生物のライフサイクル	考えられる対策の原理	具体的対策	具体的対策の評価		
			過去の技術	現在の技術	将来の技術
親貝	駆除	天敵			
成熟	成熟阻止	不妊ホルモン			
産卵	産卵不能	ホルモン			
	奇形産卵	ホルモン			
受精	受精不能	ホルモン			
幼生	駆除	天敵			
	変態阻止	ホルモン			
着生期幼生	流入阻止	マイクロストレーナ 誘引剤			
	殺す	毒			
	物理的方法				
	麻痺	Cl_2			
	毒				
	物理的方法				
	着生防止	忌避剤			
	化学的方法				
	高流速				
	物理的方法				
	習性利用				

足による付着	付着阻止	不安定表面			
接着剤合成	分泌阻害	ホルモン			
	反応阻害	?			
接着剤による付着	接着阻害	接着できない表面			
	脱着剤	剝離する表面			
	脱着	剪断応力			
		化学的方法			
	駆除	天敵			
		物理的方法			
		スポンジボール			
		昇温			
		干出			
	成長阻害	高塩分化			
		淡水化			
		脱酸素			
		必須元素摂取不能化			
		脱栄養			
	殺す	物理的方法			
	死	脱着			
	脱落	流入阻止			
		スクリーン			

表 2 大型汚損生物に対処する基本的態度と具体策

基本的態度	付着の 程度	対策の 難易	コスト*	設計 付着代	具 体 策 (例)		
					過 去	現 在	近い将来
全く付着させない	付着なし ↑ ↓ 多量の付着	難 ↑ ↓ 易 対策 不必要	高 ↑ ↓ 低 ゼロ	不必要 ↑ ↓ 小 ↑ ↓ 大	Cu ₂ O 塗装 Cl ₂ (0.2ppm)	有機すず塗装 高流速(1.4m/s) 紫外線 スポンジボール	無公害塗装 マイクロ ストレーナ
少しは付着しても すぐに死亡脱落							銅 合 金
実害のないものの み少量付着						高流速(1.0m/s)	
付着をある程度少 なくする						無公害塗装 Cl ₂ (低濃度)	
自由に付着させる					—	—	—

*付着物掃除費は含まず

はおられない。2か月以内に、着生する基盤を探して着生しないことには、私の一生は子供だけで終わることになる。

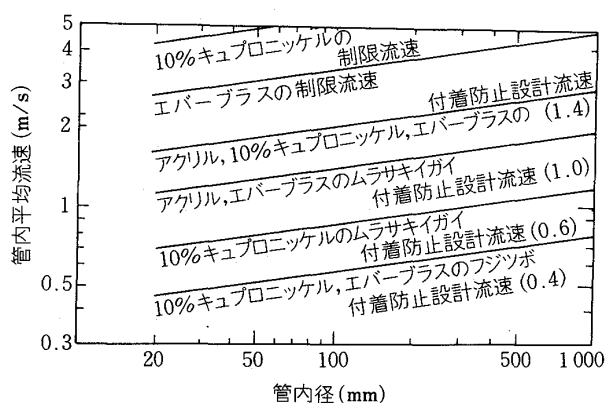
私の大きさは 300 μm なので、人間は肉眼では見ることができない。人間は、自分の肉眼で見えないものは、存在しないものだと考えてしまいたい習性があり、海水中には、我々着生期の幼生が多い時にはバケツ 1 杯の水に 1 個は存在しているのに、全く気にもかけずに、ほつておいてくれる。それで、我々は手を振って、水路や海水管に入っていくことができる。

しかし、最近になって、ここに目をつける人間が現れ、我々を海水取入口にてシャットアウトして、そこから中へ入れないのが汚損対策の根本策であると気付いた。まず、力づくで通行止めにしようというのが、マイクロストレーナを用いて海水をろ過することである。マイクロストレーナは、排水処理等では既に実用化されているが、海水のような大量の水をろ過するのはこれからの課題である。しかし、我々には強力な援軍が存在する。それはスライムで、マイクロストレーナの網目を急速に閉塞することを約束してくれている。しかし、人間もさるもの、スライムに強い 90-10 キュプロニッケルを使おうとしている。我々にとって、近い将来の最大の脅威は、マイクロストレーナであろう。

次に、頭脳で勝負しようというのが誘引剤である。取入口に誘引剤を塗った板をぶらさげ、我々をすべてそこへ付着させ、さつと板ごと取りあげようというもので、将来出現するかもしれない。

1.5 幼生の着生阻害

壁面への着生行動は、私の一生にとって自分の意志で行動しなければならない最初の行動で、しかも、一生を支配することになる重要な行動である。人間には秘密で



()内は壁面より 1mm での流速

図 2 生物汚損 (1 年)、腐食を考慮した管内平均流速⁹⁾

あるが、先に着生した仲間が、「ここがいいよ」といつて、信号を送ってくれるのが大きな助けになる。しかし、いくら居心地の良いところがあると分かっている、そこへ到達できなくてはならない。我々は前述のとおり小さい体で、自分で泳ぐ力も弱い。そのため、流速が大きいと、壁面へ泳ぎつけず、幸い水流のお陰で壁面へ衝突できても、すぐに剪断応力とやらで壁面からはぎとられてしまう。したがって、壁面から 1mm のところの流速が 1.0 m/s 以下でないと着生できない。(図 2)

しかし、この流速は機械の力によって作り出されているので、機械が止まったり、壊れたりすると流速が小さくなる。その時に、それつとばかりに着生できる。最近では、省エネとかでわざと流速を遅くして、我々の着生の手助けまでしてくれる。そして、いつたん後述のように足糸で壁面に付着できれば、再び流速が大きくなっても、もう大丈夫である。

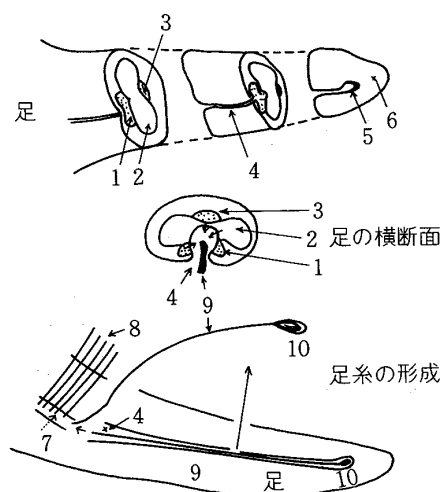
しかし、我々の最も苦手なのは毒である。人間の毒の与え方には二つある。一つは毒を海水に溶かす方法、二つ目は壁面に毒を塗る方法である。前者についていえば、我々幼生は、まだ殻の中に身を隠すことができず、毒のある水でも、体内に取り入れざるをえず、一生を通じて毒に一番弱い。人間は、そこをついてくるわけである。毒が強いと死なざるをえないし、それほどでなくても、我々はフラフラとなつてしまつて、着生しようというような気も起こらなくなる。毒としては塩素が最も安いとかで、昔は 0.2 ppm の残留塩素を連続的に流されたので、我々は全く着生することができなかつた。しかし、最近では動物愛護者が現れ、「放水口で検出してはならない」としてくれたので、我々は再び着生できるようになった。毒としては、防汚塗料を壁面全面に塗られることがある。昔は亜酸化銅が使われたが、環境と環境生物への影響という点から排斥され、最近では有機すずが全盛である。しかし、有機すずなら何でも降参せねばならないというわけではなく、メーカーによつては、時期を待てば、我々も着生できるようになるものもある。しかし、優れたメーカーのものを塗られると、丸二年着生することはできない。

毒でなくても、我々が着生できない壁面が存在する。その秘密はあかすわけにはいかないが、最近では、無公害防汚塗装と命名して、盛んにテストされており、低表面自由エネルギーのものがよいのか、ヌルヌル表面がよいのか、その組合せがよいのか、人間は必死に努力している。しかし、その努力がなかなか実を結ばない理由として、我々が援軍のスライムの働きが大きい。彼らは、その表面にとりついて繁殖し、その表面特性を隠蔽してくれるからである。しかし、近い将来には我々の着生できない塗装が、広く用いられるのではないかと恐れている。我々が頼りにできるのは、高コストが普及を妨げることだけである。

毒以外に、超音波、電撃等の物理的方法で我々を麻痺させて、着生させまいということも試みられたが、コストの問題もあつて、実用化しなかつたのは幸いである。将来、我々の習性があばかれてしまうと、それを利用した方法も出現するかもしれない。

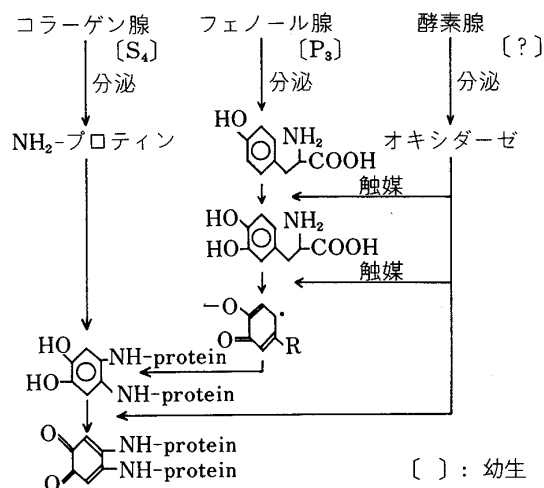
1.6 接着阻害

幸いにも壁面に到達できると、壁面を自分の足で歩き回り、ここがよさそうだとすると、さらに足先端部で活発な手探り、いや足探り運動を行つて最適の位置を慎重に選び、次に足をぴたつと壁面に付け、体内の三つの分泌線より、高分子合成の三つの原料を足の裏の溝の中へ分泌し、溝の中で混合し、高分子架橋反応を行い、溝の先端の円盤状の大きな凹状部で合成した吸盤で、壁面へ接着させる。1 min 余りで足をそらすと、後には、先端の吸盤から1本の糸、すなわち足糸を介して、私は壁面に連結されているわけである。(図3, 4)



1. 酵素腺 2. コラーゲン腺 3. フェノール腺 4. 足の溝 5. 溝の終末 6. 粘液腺 7. 足糸の茎 8. 古い足糸 9. 新しい足糸 10. 付着盤

図3 足糸のでき方模式図 (SMYTH 1954, PUJOL 1967 に基づく)



[] : 幼生

図4 足糸の合成プロセス

この足糸形成反応の秘密があばかれたので、やがて分泌阻害ホルモンとか、架橋反応阻害剤とか、せつかく苦労して基盤に接着しようとしても、接着剤がきかない薬品が塗られているとか、接着したと安心していると、いつのまにか接着剤がきかなくなる薬が塗られているとかいうことになるろう。

1.7 着生幼生の駆除

私は運よく流速の小さい管に入ることができ、さらに防汚塗装されてない壁面を見付けることができ、さつそく何本も足糸を出して、しつかりと壁面に着生し、親貝へと変態の最中である。

しかし、これで安心というわけにはいかない。ここが熱交換器管内としたら、数日のうちにスポンジボールが

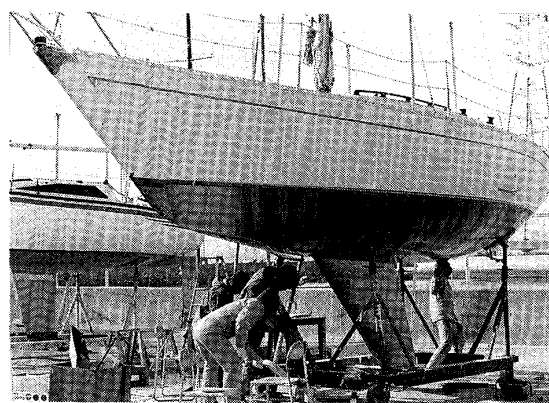


写真1 90-10 キュプロニッケルシートを接着した船体（姫路気象）

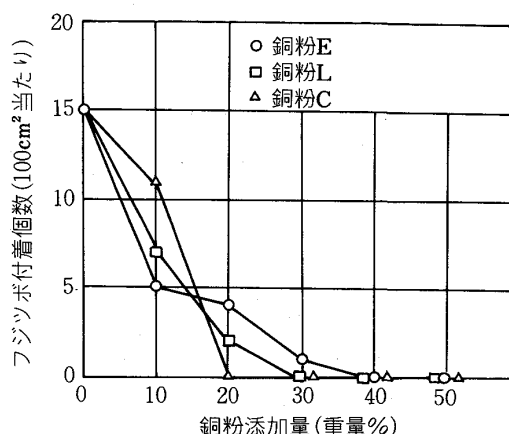
飛んでこないことを祈らねばならない。親貝のしつかりしたかたい殻の中に、全身を隠せるように成長するまでの間は、スポンジボールに抵抗することができず、ボールが来れば、洗い流されてしまう。我々およびその他の付着生物全部を通じて、1.0 m/s 以上の流速なら、週3回スポンジボール洗浄されると、我々は付着し続けることはできない。しかし、幸いなことに、銅合金はスポンジボールの過剰洗浄で腐食を生じるということを、自己流に解釈する人間が管理している熱交ならば、洗浄間隔を広げてくれるので助かる。

次に問題なのは、我々の着生後の殻の小さいところを狙っている天敵が存在することで、巻貝はその例である。しかし、流速の大きい管などには彼らは存在できないのが、なによりである。

1・8 成長抑制

我々が着生場所を探しながら浮遊している時に、毒に会ったり、流速が大きすぎて、流されたりすると、我々はあつさりあきらめて、別のところへと旅を続けるが、我々にとって困るのは、着生の時には毒があるのが分からず、着生してしばらくたつてから、毒が流れて来たり、じわじわと毒がきいてきたり、酸素がなくなったり、食物が来なくなったり、水がなくなったり、温度が上がったり、塩分が減ったり、増えたりすることである。我々は、若い間であれば足糸を切つて別のところへ移動できるが、一番かわいそうなのはフジツボで、逃げ出すこともできず、忍の一字で耐えねばならない。ジワジワときいてくる毒としては、最近注目をあびている 90-10 キュプロニッケルがある。船体にこれが使われると、我々は着生はできても、若くして死なねばならない。船体には、もつぱら外国で使われていたので安心してしたが、最近ソーラーボートとかに、90-10 キュプロニッケルが張られて以来、あちらこちらでも張られ始め、困ったことである。（写真1）

しかし、90-10 キュプロニッケルは熱交換器管として



B発電所 153日間

図5 浸漬板上の付着フジツボ個数と塗料中への銅粉添加量の関係⁹⁾

は、コストの割には耐食性が十分でなく、使用されないのではつとしていたところ、90-10 キュプロニッケルを内管に、チタンを外管とした二重管が防汚耐食を看板に開発された。

90-10 キュプロニッケルに味をしめ、最近の人間界のブームの一つである新素材開発の格好のテーマというわけで、いろんなところで、さらに安くて効果のある銅合金はないかと研究中である。実をいうと、90-10 キュプロニッケルより銅の方が恐ろしいのだが、銅は海水中で局部腐食するので使われないのはなによりであつた。ところが、最近では銅粉をまぜたコーティングが提案され、(図5) いけすに銅入樹脂をコーティングしたものは、溶出銅イオン効果により、養殖が促進されるとまで宣伝しているが、誰か反対してくれる人はいないものだろうか。

アルミニウム黄銅管も、90-10 キュプロニッケルほどではないが、銅が溶出するため我々の敵であるところだが、最近では必要のないケースに対してさえ鉄皮膜を付けてくれるので、毒性が隠蔽され、我々も安心して付着できるのは有難い。

最近ではまた、アルミニウム黄銅の防食管理がやつかいだとはかりに、値段が高いにもかかわらず、チタン管を使用するところが増え、我々の天国が増加してきている。チタン管といえば、フジツボが1インチ管の内面1mに240個付着したといばつていたつけ。

スーパーステンレス鋼管も、我々の付着にはもつてこいではあるが、コストの高いことと、過去のステンレス鋼に対する苦い経験と、スーパーステンレス鋼に情熱を傾ける会社の現れないこともあつて、使用されないのは残念である。

我々が成長するためには、酸素と栄養を摂取せねばならない。我々は、それらを水と一緒に、すなわち水を体

内に取り込んで、体内でろ過することによつて、それらを取り込む。その点からいつて、人間の作った取水設備内は最高の住環境である。新しい水がどんどん流れ込んでくれるので、絶えず酸素と栄養がやつてき、我々はただ能力いっぱい口をあけておればよいわけで、我々の成長速度は、自然環境に住んでいる同胞よりも遙かに大きくなる。

そして、毒が流れて来ると殻をぴつたりと閉めて、毒の入った水が体内に入らないように耐える。そして、蛸が自分の足を食べるように、我が身を削つて生命の維持のエネルギーとする。こうして、毒が来なくなるまで耐えるわけで、その間は段々と身が細つていく。そして毒がこなくなると、それつとばかりにどんどん酸素と栄養をとる。我々は、水を体内に通過させるため、水の浸透圧が大きく変化すると、我々は順応できない。

一般的にいつて、我々の祖先が遭遇したことのあるような環境変化には、割に強く耐えることができる。しかし、我々の祖先が経験しなかつたような条件を人工的に作られると、長くは耐えられない。浸透圧についてもそのとおりで、大雨によつて河口域の塩分が減ることはたびたびあり、したがつて我々も淡水化には割と耐えられる。しかし、高塩分化は我々の祖先も経験したことがなく、簡単に降参せざるをえない。

水がなくなると、例のとおり殻をぴつたりと閉める。殻内の水がなくならない限り大丈夫である。

我々が成長できるには適温というものがあり、それを越えると成長できなくなる。

1.9 死

成長抑制が極限まで進んだら死んでしまう。

我々は、殻をいかにぴつたりと閉めても、足糸を殻と殻の間から出している関係で、完全密閉というわけにはいかず、水から干あげられた場合、殻内の水は少しずつ蒸発していく。そして殻内の水がなくなつた時が一生の終わりとなる。

また、毒が来た時に、殻を閉めて我が身を削つても、それには限度があり、遂には死なざるをえない。しかし、人間の期待に反して、相当長く耐えることができる。例えば、残留塩素 20 ppm でも、1 か月は死なずにおれる。

酸素と栄養がなくなると、我々も長くは生きていられない。酸素がなくなつた例としては、1950 年の終わりからの水質汚染のひどかつた時代があり、人間は付着生物がないと喜んだが、そのかわり汚染水腐食で苦しんでおつた。

栄養のなかには、必須微量元素があり、もしそれが何だということを見抜かれて、それを我々が利用できない化合物にかえられたら、我々は死なざるをえなくなる。

人間の手によらずに、我々自身の過失で死なざるをえないこともある。それは、前述のように水路内では酸素と栄養が水につて絶えず供給されるため、調子につ

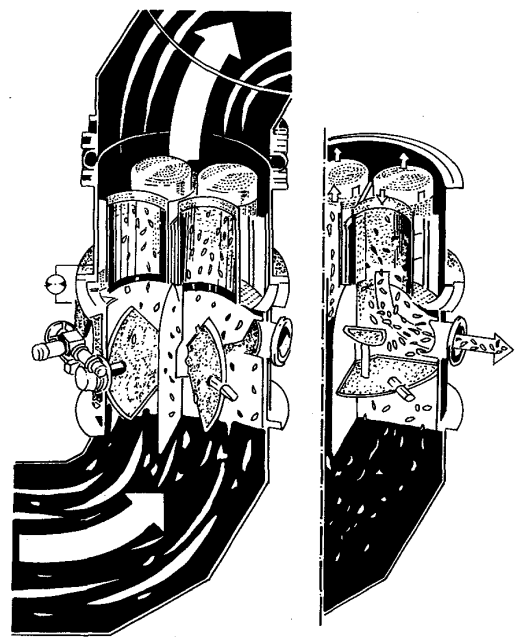


図6 自己逆洗形除貝装置 (タブロゲ)

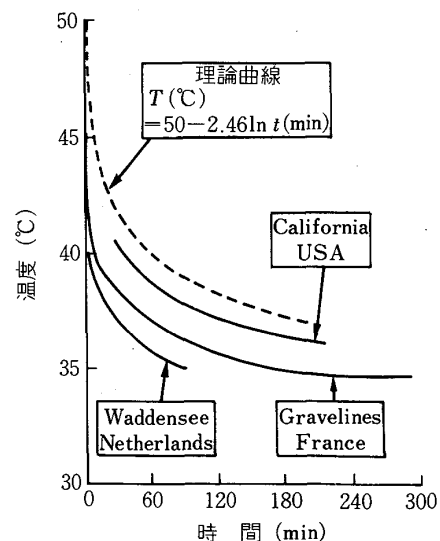


図7 三地域におけるムラサキガイに対する致死熱量曲線および熱処理効果を保証する放物線²⁶⁾

て上へ上へと重なつて付着していくが、そうなると一番下のものは酸素と栄養の供給が悪くなり、死なざるをえなくなる。いつたん死ぬと、足糸の付着力も弱くなり、ちょっとした水の流れの変化のショックなどで壁面から脱落してしまう。そうすると、上に重なっているものもろともに、大きな塊となつて落ちてしまうことになる。そうして、壁面にぴつしりと、ほぼ同じ厚みで付着していたのが、一か所ボカッと穴があいたように脱落すると、そこで水の流れが乱れ、その回りに力を加えるので、次々と脱落せざるをえなくなる。将来は、これを逆に人間が利用して、壁面のところどころに、あらかじめ軟らかく

て脱落しやすいものや、ある期間たてば死んでしまう殻をもたない軟らかくて弱い生物を取り付けておいて、まずそういうところを脱落させて、そこで生じる乱流によつてまわりのものを落としてやろうと考え出されるかもしれない。

脱落したものが、塊となつて水の流れに乗つて下流へ流れていくと、そこに人間が海水を必要とするメインの機器があり、そこでは、それまでの水路より必ず狭くなっているため、我々はそこへ詰まつて、水の流れを阻害し、さらに腐食の原因ともなる。それを防ぐために、最近、大事な機器の前にマッセルフィルターと称するスクリーンを設置し、我々をそこでストップさせるようになってきた。(図6)

我々の弱点として、高温に弱いということがある。(図7) 地球上の海水は夏でも 30°C を越えることは少なく、したがつて、我々の祖先は 30°C 以上の海水は経験しておらず、 32°C になると3~4日間で死ぬ。そしてやがて脱落する。

我々の抵抗力の弱いものからいうと、まず昇温に弱く、次に高塩分化、淡水化、干出ということになります。

1・10 強制退去

我々は、足糸でもつて壁面に付着し、少々の波浪や流速には、びくともしないことはすでにお話したが、そ

れではその強さはどの程度なのかが、人間にとつては重要な問題である。

足糸1本当たり100gの引張力に耐えるものもある。実際に壁面に付着してる同胞をひきはがして、それに要する力を測つた人間によると、1個をはがすのに1kg前後を要した。なおフジツボの場合は、直径7mmのもので500g前後であり、付着している表面が硬いほど、とれやすかつたとのことである。

こういうわけで、上記の力以上の力を加えられると、壁面と生き別れにならざるをえない。

なお死んでしまうと、付着力は急激に弱くなつてしまう。水をぬかれて死んだ場合には、最初酸素のある間は好気性分解をできるが、それによつて酸素を消費してしまうと、あとは嫌気性分解とならざるをえず、くさい臭いを発し、人間を近付けないようにする。それでも近付いてくる人間は、酸欠で窒息して倒れてしまう。

ともあれ、私も運よく人間の作つた水路に着生できてからはや1年たち、水路に付着したお陰で酸素と栄養に恵まれ、自然の海における同胞よりははやく成長したのはよいが、私の上にも同胞が着生し、さらにその上へ上へと重なりあつた結果、付着厚みは10cmにも達し、いかに自由放任をもつて任ずる当所の人間様も、流量が12%も減つては生産に支障を生じ、ついに我々を強制

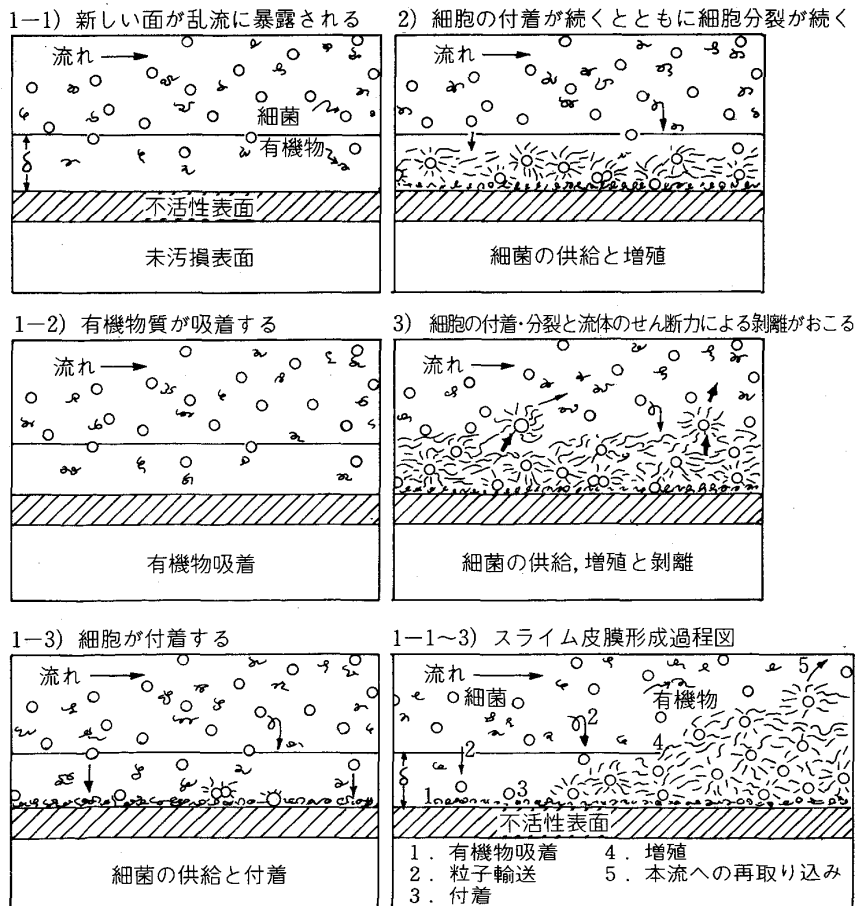


図8 スライム皮膜形成過程 (Corpe)

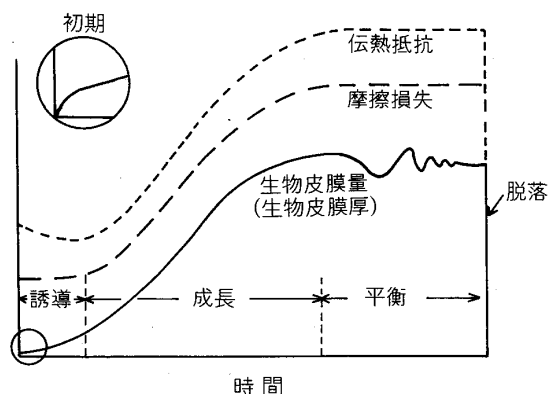


図9 スライム生成段階 (Bryers を改良)

退去させる決心をしたようである。

強制退去法としては、昔はもっぱら人間の手作業であったが、最近は新しい方法も実用化されつつある。そのなかで、回転ブラシによる洗浄と、ジェット水洗浄とが一般的なものである。しかし、それらの方法で除去はさせても、我々が下に落ちてたまっているのでは、問題は解決しない。したがって、回収も機械的にできるものではないと、意味がない。

最後は、回収したものの処分である。昔はもっぱら空地へ埋葬されたものだが、最近は有効利用とやらで、我々から肥料を作るとかの研究も行われている。

こうして私の一生は終わる。しかし、私の子供たちが、私の付着していたところへ再び付着させてもらえるかどうかは、この私の一代記をお読みになつたあなた次第ということである。

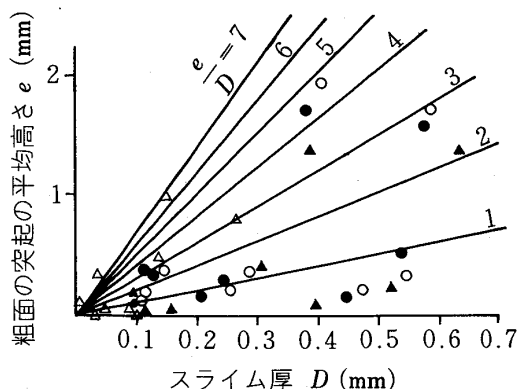
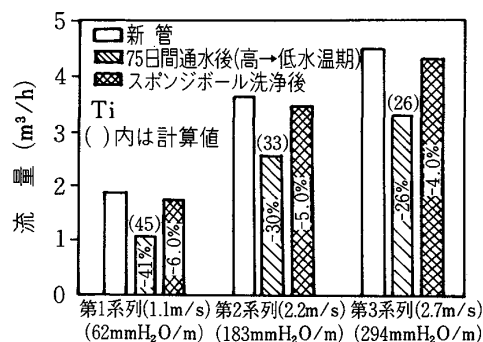
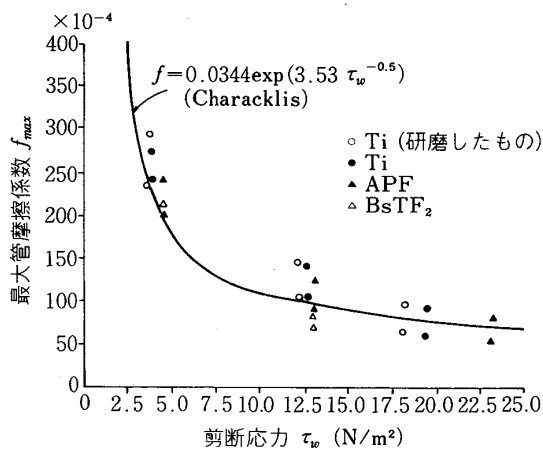
2. スライム

我輩は細菌である。名は何百とあるが、ラテン語を並べても、読んでくれる人はおりそうにないからやめておく。

我々には直径 $1\mu\text{m}$ 前後の球形のもの、長さ $2\mu\text{m}$ 前後の長方形のもの、直径 $1\mu\text{m}$ 前後で糸状に長いもの等、いろんな形がある。

低倍率の光学顕微鏡で簡単に見える $200\mu\text{m}$ の幼生でさえ無視なさる人間にとっては、400 倍の液浸で、熟練者のみがやつと見ることができに過ぎない我々は、全くお呼びではない。

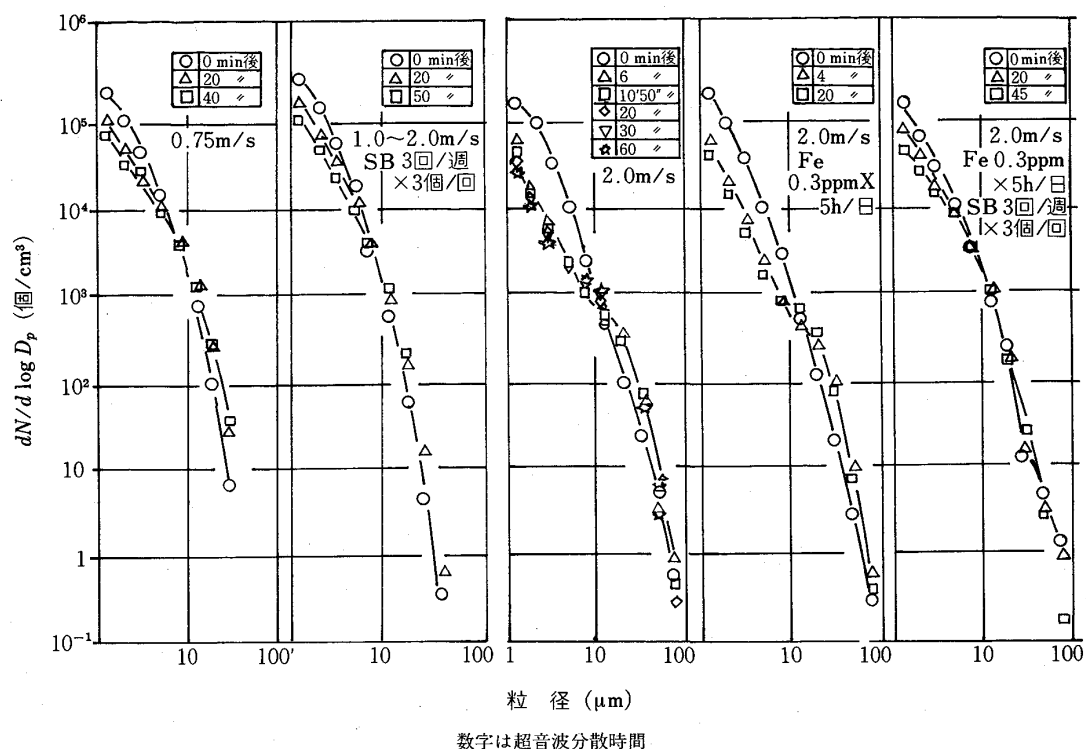
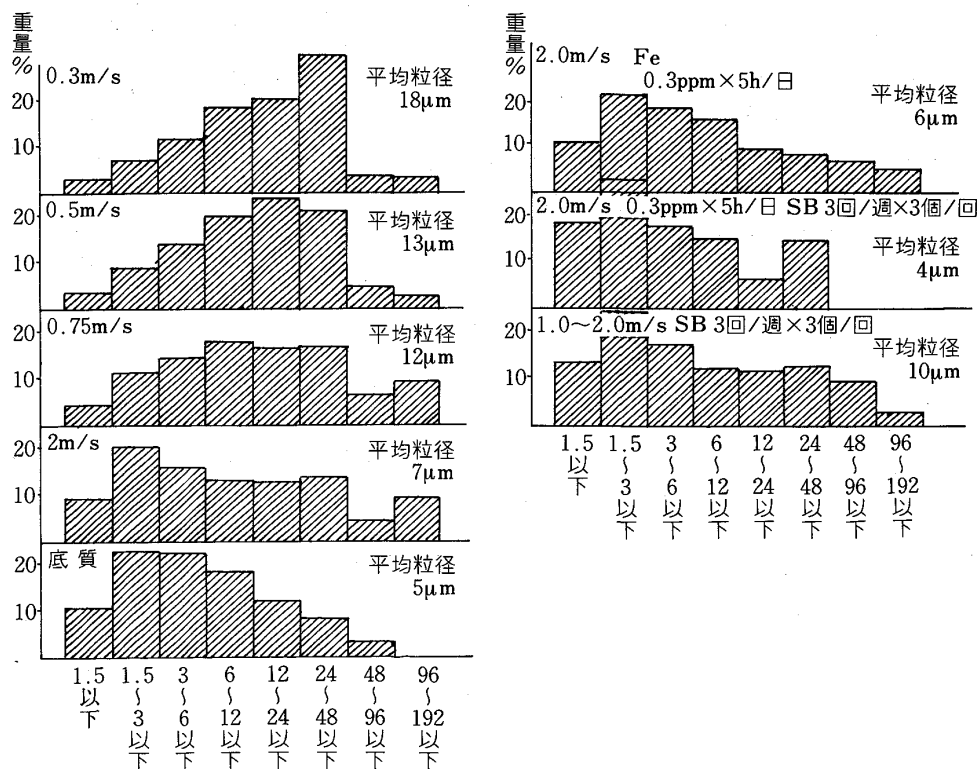
さらに幸いなことに、我々の体の 90% は水であるため、化学者ご自慢の恒量化のための 100°C 乾燥後には、我々のほとんどはなくなってしまうため、我々の存在には気付かない。しかし最近、我々を含むスライムをスポンジボールや高圧水で採取して、そのまま水の中で沈降させて、湿体積を測る人が現れ、我々の存在に関心を向け始めている。また、金属研究者は、我々を付着させたまま樹脂に埋め込むのはよいが、脱水してから

図10 粗面の突起の平均高さとスライム厚²⁵⁾図11 新管通水開始時の摩擦損失にした場合の流量低下²⁵⁾図12 最大管摩擦係数と管表面のうける剪断応力との関係²⁵⁾

埋め込むので、我々の本性を見られることはない。

我々は海水中に 1ml 当たり 10^6 個存在している。また、海水中に存在する懸濁物にも多数とりついている。

我々も毒には弱く、例えば塩素やオゾンや紫外線では殺されてしまう。しかし、今までは大型付着生物の巻き添えをくつて殺されることが多かった。しかし塩素については、我々だけを殺そうということが行われたことも

図 13 スライム構成粒子の粒径分布 (個数)⁹⁾ (Ti)図 14 スライム構成粒子の粒径分布 (重量)⁹⁾ (Ti)

ある。

我々も壁面に付着することを好むが、新しい壁面には付着できない。しかし幸いなことに、人間が海中に構築した壁面には、すぐに水中の有機物が付着し、我々が付

着できるようにしてくれるので、我々も 1h 後には付着を開始できる。(図 8)

そして、壁面に付着すると体外分泌物を分泌し、水中の酸素と栄養をとり込んで成長を続ける。(図 8)

表 3 付着物除去後のアルミ黄銅管表面状況⁹⁾

除去方法	残留付着物 (mg/cm ²)	分極抵抗 (10 ⁴ Ω cm ²)		最大粗さ* (μm)
			Mean	
高圧水	3.1	3.3 7.7	5.5	5
ウェットブラスト	0.4	0.24 0.31	0.28	9
サンドブラスト	0.1	0.29 0.31	0.30	10
カーボランダムボール	0.2	0.24 0.26	0.25	3
カーボランダムボール + ポリッシュボール	0.2	0.27 0.40	0.34	4
	0.4	0.34 0.32	0.33	4

* 腐食ピットは除く

そして条件が整えば大増殖を開始し、細菌数をどんどん増加していく。(図9)しかし、毒の壁面は苦手で、増殖をおさえざるをえない。

我々が分泌する体外分泌物の粘着性のため、水中の懸濁物が多数付着する。

我々は糸状の細菌等糸状のものを立体的にからみあわせ、水中へと高層ビルを建築する。この際、体外分泌物の粘着性が役立ち、水中の懸濁物で高層ビルを補強する。こうしてできたスライムは、高層ビルの中に多くの空間—すなわち水が入っている—を保持しているため、それを砕いたり、脱水したりして測定した厚みの何倍にもなつて存在しており、人間のいう表面の粗さは非常に大きいことになり、また柔軟な構造のため、流体エネルギー吸収に優れ、大きな摩擦損失を与え、また熱交の伝熱性能をも著しく低下させる。(図10, 11, 12)

このスライムという高層ビルを、バラバラにこわしてみると、粒子数でいうと我々細菌が圧倒的に多く、10 μm 前後の土砂は少数を占めているにすぎない。(図13)しかし、重量でいうと、比重の大きい土砂の占める割合が大きくなる。(図14) こうしてバラバラにされた粒子は、すぐに再び凝集して、大きな塊に成長する性質を有している。

我々を含むスライムは、除去される運命にある。最近では、機械的手段が用いられるケースが増えてきている。そのほとんどが、スポンジボール洗浄で、運転中にボールが水とともに流れて来て、我々の大部分を持ち去っていく。しかし、100% 持ち去られることはなく、壁面に押しつけられて残存した仲間が、すぐまた高層ビルの再建にとりかかってくれる。そして、数日の余裕をくれると、ある程度再建ができているので、次のボールが来ても残存できるものが増え、だんだん壁面にかたく押しつけられた形で、蓄積していくことができる。しかし、毎日相当個数こすられると、お手あげである。使い古されたボールだと、立体構造も一部残存することができる。

アルミ黄銅の場合、スポンジボール洗浄が過剰となる

と腐食するため、どうしてもスライムを残存させてくれることになる。その代わり、休止時に除去されることになるが、最近では高圧水洗浄が、管の分極抵抗を防食に必要な数値以上に維持できるということで注目を浴びつつある。(表3) 我々にも天敵は存在する。その一つは原生動物で、我々が壁面に付着すると、少し間をおいて必ずどこからか現れ、同胞を食べにかかる。しかし高流速では、原生動物は付着しておられないので安心できる。

次にビールスがある。これは我々の存在している海水には、必ず我々のみをたべるビールスが存在しており、我々の体内に浸入して、そこで増殖し、我々を食べ尽くすと、我々の体の皮をつき破つて水中へ出ていき、次の犠牲者を探す。これに目をつけた人間が現れ、ビールスを増殖して、海水中に注加しようと考えている。

これは人間に秘密にしておきたいのだが、我々は自然のままに放置されると、どうなるかということである。我々の増殖速度も、無制限にどこまでも増えるというものでなく、あるところで細菌数は一定となりスライムの厚みも飽和する。しかし、調子に乗って増殖し、飽和厚みが大きくなりすぎた場合には、その底層へは、酸素や栄養がとどかなくなり、底層の仲間は死なざるをえなくなる。そうすると、壁面への付着力は弱くなり、底層からゴソッと脱落せざるをえなくなる。(図8) これは天罰というべきか。

それと、我々も剪断応力には弱く、流速が大きいほど、付着厚さを小さくせざるをえない。

我々が大型付着生物と決定的に異なる点は、海水中では元来飢餓状態に近いので、さらに悪い環境でも、体を小さくしたりして、長期間耐えられることである。

我々の重要な役割としては、我々が付着して、はじめて大型付着生物が着生可能となることである。この点に人間はようやく気づき、大型付着生物対策の基本はスライムを付着させないことだといひ始め、スライムの付着しない表面の研究にもとりかかる気配であり、我々も安閑とはしておれなくなつた。

しかし、大型付着生物の前駆者としての我々の本性は、まだ人間には掴まれてはいない。我々をサンプリングして顕微鏡で見られている限り、我々を含んだスライムの実態を掴まれることはない。我々が実態をさらけ出さざるをえないのは、壁面に付着したまま、水中で観察されることである。電顕では我々もはつきりと姿を現さざるをえないが、水分が飛ぶので、我々は相当しぼんだりしており、熟練者でないと判別できないのが幸いしている。

さらに我々は、海水中的の何を栄養としているのか、それがどの程度海水中に存在しているのかも掴まれておらず、我々の付着メカニズムがようやく研究され始めたところであり、我々の体外分泌についても同様である。

我々日本の細菌にとつて幸いなことは、日本では海洋細菌の研究者が、非常に少ないということである。

文 献

〈大型汚損生物〉

- 1) セミナー海水取放水設計と汚損実態 (電気化学協会海生生物汚損懇談会) (1984)

〈大型汚損生物の生態・生活史, 付着機構〉

- 2) 坂口 勇: ムラサキガイ, 海洋科学, **16** (1984), p. 134
- 3) ムラサキガイの付着メカニズム関連文献集 (電気化学協会海生生物汚損懇談会)
- 4) 加戸隆介: フジツボ類の生活史 (電気化学協会海生生物汚損懇談会) (1983)
- 5) フジツボ付着関連文献集 (電気化学協会海生生物汚損懇談会)

〈大型汚損生物調査法〉

- 6) 付着生物調査法 (冷却水路付着生物対策研究会)
- 7) 付着生物の調査・分類実習テキスト (1984) (電気化学協会海生生物汚損懇談会)

〈対策〉

- 8) セミナー海水使用に伴う障害とその対策 (化学工学協会関西支部) (1982)
- 9) シンボジウム無公害生物付着防止対策 (電気化学協会海生生物汚損懇談会) (1986)
- 10) 防汚塗装シンポジウム予稿集 (電気化学協会海生生物汚損懇談会) (1984)
- 11) セミナークロリネーションの過去と現在予稿集 (電気化学協会海生生物汚損懇談会) (1986)
- 12) 腐食と対策事例集 (腐食防食協会編) (1985) [海文堂]
- 13) シンポジウム復水器管の最新の防食防汚技術の最適化予稿集 (電気化学協会海生生物汚損懇談会) (1985)

- 14) パネル討論アルミ黄銅復水器管防食防汚技術の最適化, 火力原子力発電, **37** (1986), p. 741
- 15) Symposium on Condenser Macrofouling Control Technologies The State of the Art (EPRI CS-3343) (1983)
- 16) Proceedings Condenser Biofouling Control State-of-the-Art Symposium (EPRI CS-4339) (1985)
- 17) 1984 JPGC Conf. 報告会予稿集, 第一～第三分冊 (電気化学協会海生生物汚損懇談会)

〈スライム〉

- 18) 清水 潮: 海の微生物たち (1982) [大月書店]
- 19) 太田次郎: 細菌の科学 (1982) [研成社]
- 20) 服部 勉: 微生物生態入門 (1978) [東大出版会]
- 21) 服部 勉: 微生物学の基礎 (1986) [学会出版センター]
- 22) 森崎久雄, 服部黎子: 界面と微生物 (1986) [学会出版センター]
- 23) Microbial adhesion to surfaces, ed. by R. C. W. BERKELEY, (1980) [Ellis Horwood]
- 24) Microbial Adhesion and Aggregation, ed. by K. C. MARSHALL (1984) [Springer-Verlag] (学会出版センターより翻訳刊行予定)
- 25) セミナー伝熱に伴う汚れの発生と洗浄 (化学工学協会関西支部) (1985)
- 26) J. W. WHITEHOUSE, M. KHALANSKI, M. G. SAROGLIA and H. A. JENNER: 海水及び河口水使用発電所における生物汚損対策—ヨーロッパ各国の電力会社の共同報告— (1986) [電気化学協会海生生物汚損懇談会]