HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	船にフジツボをつけない技術
Author(s)	沖野, 龍文
Description	北海道大学大学院地球環境科学研究院平成20年度公開講座 ヒトと地球にやさしい化学技術. 平成20年8月19日～9月30日. 札幌市
Relation	北海道大学大学院地球環境科学研究院平成20年度公開講座 ヒトと地球にやさしい化学技術. 第3回.
Issue Date	2008-09-02
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/36624
Type	lecture
File Information	2008_okino.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

第３回　９月２日（火）

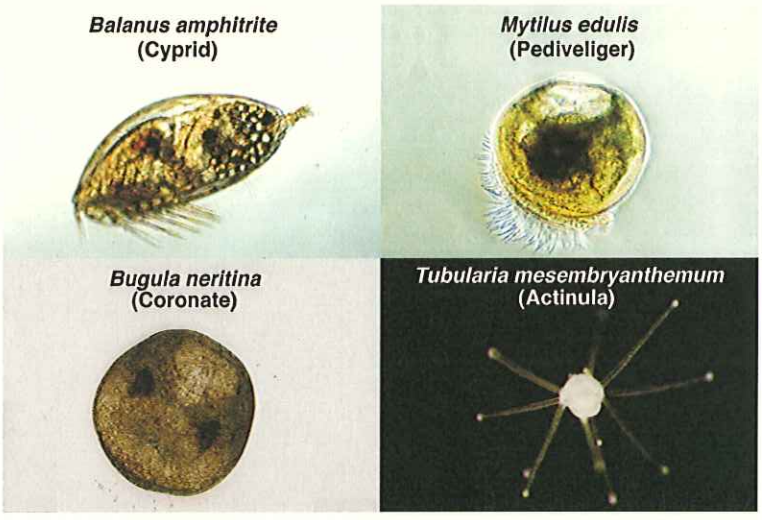
船にフジツボをつけない技術

講師：大学院地球環境科学研究院　准教授　沖　野　龍　文

１．船につく生物

船の底には様々な生物がついている。フジツボ、イガイ、ホヤ、コケムシ、ヒドラ、海藻などである。特にフジツボは、その強力なセメント物質により強固に付着する厄介者である。ドック入りした船舶は、まずウォータージェットの強力な水圧により付着生物を剥離させる。生物を付着したまま航行すると、その摩擦抵抗の増大により、燃費がかなり上昇する。原油高の現在経済的に問題であるし、二酸化炭素排出削減が必要とされる今、付着生物の防止の重要性はさらに高まっている。古代ギリシャ時代より、付着生物を防ぐ船底塗料が用いられているという。一方、明治時代に日本海軍連合艦隊が、日本海海戦においてロシアのバルチック艦隊を破った。これは、バルチック艦隊の船底が付着生物で汚れていたため、スピードをだせなかったからと言われる。現在においても軍隊にとって付着生物の防止は大きな課題であり、先日参加した第 14 回海洋腐食と汚損に関する国際会議では、米軍およびオーストラリア軍の関係者から多数の発表があった。

生物が付着して困るのは船舶だけではない。漁網にも多数の生物が付着するので、特に長期間海に浸漬する養殖網や定置網では大きな問題となる。また、発電所は冷却水を必要とするため海岸に立地するが、その給排水管にも生物が付着する。実際に定期点検で停止中の発電所の給水管に入る機会があったが、床・壁・天井すべてが付着生物で埋め尽くされていた。



船につく生物の幼生

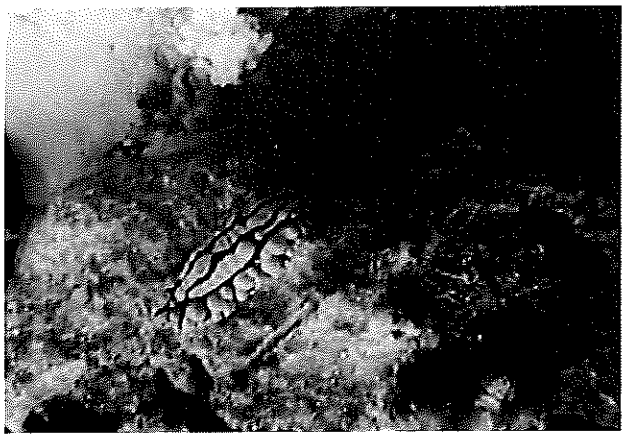
２．最も効果的な付着防止剤

古くから現在まで防汚塗料に使われる付着防止剤は亜酸化銅である。以前は有機ヒ素や水銀が防汚塗料に使われていた時代もあったが、1960 年代に入り、有機スズが使い始められると、一気に市場を席巻した。有機スズ、例えば TBT(トリブチルスズ)基を樹脂にエステル結合させた自己研磨型船底塗料は、加水分解して溶出することにより、常に新しい塗料表面が海水に接する。このことが、優れた防汚性能を発揮した理由であり、市場を席巻した理由である。しかしながら、すぐに有機スズの毒性が報告され始める。70 年代にフランスのカキ養殖に大きな被害を与えたのがその初めである。さらに、年配の方であれば、80 年代に養殖ハマチの奇形の原因が有機スズであると報道されたことが記憶にあるかもしれない。後者については水産庁が寄生虫によるものとしたので、養殖魚の奇形に有機スズが直接影響するものではない。しかし、国内における有機スズの規制を早める要因であったことは確かである。また、最近では 90 年代末の環境ホルモンが大きな問題となった時期に、巻き貝イボニシの雄性化（インポセックス）がその代表例の一つとして報道されたのを思い出す。これは、有機スズの毒性の代表的なものである。そこで、有機スズの規制が始まるが、本格禁止までは長い時間がかかった。まず、80 年代初めにはヨーロッパで小型船舶への使用が禁止された。日本でも 70 年代より自主規制が始まり、90 年代初め化審法特定化学物質指定を契機に塗料メーカーは使用を中止した。規制が迅速に進まなかった理由は、代替技術の開発が進まなかったからである。日本メーカーは、早い時期に開発に成功し、このことにより国際的な規制に積極的な役割を果たした。その後、代替品の開発が進み、国際的な有機スズの規制が国際海事機関で討議された。2001 年に採択された「船舶の有害な防汚方法の規制に関する国際条約」（AFS 条約）は、2003 年以降の有機スズ防汚塗料塗布禁止と 2008 年１月以降船舶表面に存在することを禁止した。しかし、批准が進まず、条約の定める 2008 年１月となっても発効しなかった。ようやく 2008 年９月１７日（本講義の半月後）に発効することが決まったところである。とはいえ、2003 年以降欧米の大手塗料メーカーはスズを既に使用しておらず、海水中の有機スズ濃度は減少してきている。ただし、底泥には残留しており、短期間で消失するものではない。

フジツボの成体

３．現在のフジツボをつけない技術

現在では、亜酸化銅や亜鉛と共に、有機スズ代替防汚剤が開発され用いられている。それらには除草剤をもとに開発された物質やシャンプーのフケ取り剤ジンクピリチオンなどがある。このように、既に工業原料として確立された化合物は、安全性試験や登録などが終わっているし、生産プラントも既に存在するというメリットが大きい。塗料は高価なものではないので、船底塗料もコストを抑えなければいけないのである。ただし、有機スズ代替防汚剤の毒性も議論されているところである。今後の新規防汚剤の開発は、ヨーロッパの新しい化学物質規制規則(REACH)の影響があり、日本でも化審法の改正が議論されているところなので、非常に困難である。一方、低表面エネルギーにより付着力を押さえるシリコーン系塗料が高速船を中心に使われている。シリコーン系の場合、付着してもはがしやすいという有利性がある。ただし、コストと高速航行が必要とされることが弱点である。海洋環境を考えると基本的に防汚物質を用いないシリコーン系がよいという判断がある一方で、高速航行しても付着するバクテリアや珪藻のフィルムでも燃費を落とすので、防汚剤が不可欠であるという見かたもある。



化学防御物質をもつウミウシ

４．自然に学ぶフジツボをつけない技術

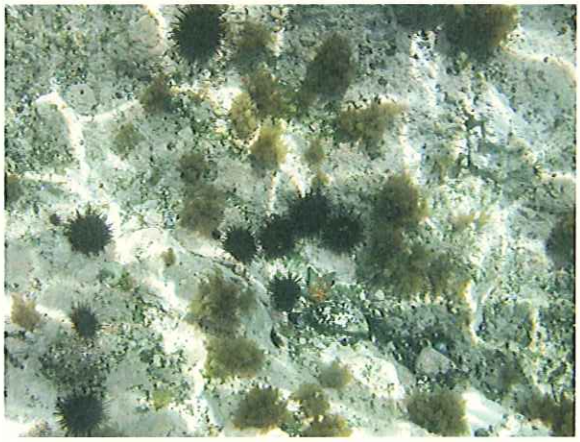
フジツボは、幼生期に浮遊生活を送ったあと、適した基盤を探索して付着し、そこで変態する。その場から動くことはなく大きくなっていく。したがって、フジツボの付着を防ぐということは、幼生の付着を防ぐことを意味する。フジツボの幼生は窪みや溝を好んで付着することが知られるが、微細な表面構造によっては付着しにくいことが最近知られてきた。例えば、カニやムラサキイガイの殻を模した表面構造にはフジツボが付着しにくい。また、サメの表皮を模した製品があり、フジツボの付着を防ぐことができる。

海洋生物の表面構造だけでなく、彼らのもつ化学物質がフジツボの付着を防ぐことも報告されている。つまり、フジツボばかりでなく海洋で付着生活を送る生活は数多い。彼らは、捕食者から逃げることができないため、防御物質としての化学物質をもっていること

が知られている。この化学防御の仕組みを、フジツボの付着防止に利用しようという考え方である。

オーストラリアのある種の紅藻がもつフラノン類と呼ばれる化合物は、フジツボの付着を阻害することが報告された。さらに、フジツボの付着を誘引するバイオフィルムを形成するバクテリアの成長も阻害した。この化学構造をみてみると、微生物のクオーラムセンシングとよばれるシステムを制御する物質であるアシルホモセリンラクトンに類似している。実際、このクオーラムセンシングのシステムを阻害することによりバクテリアの成長を阻害する。このように作用機構も明らかにされ、企業による開発も進んでいるが、現在は船底防汚塗料としてではなく、コンタクトレンズの消毒剤や歯磨き粉に用いられている。

我々は、海洋無脊椎動物に注目し、その結果ウミウシや海綿に含まれるイソシアノ基という官能基を有する化合物に付着阻害活性があることを発見した。これらの化合物はフジツボの幼生の付着を阻害するだけで、幼生に対して毒性を示さない。幼生は浮遊生活を続けるのである。毒性によって付着を阻害するわけではない。この化合物をヒントに設計された合成容易な化合物が、実海域で防汚性能を発揮することが確認されている。さらに、最近では海藻のソゾ類に含まれる化合物がフジツボの着生を阻害する一方で、きわめて高濃度でも毒性を示さないことを発見した。現在、ソゾから得られた化合物からいかにコストの安い化合物を設計するか、さらにその化合物を溶出させず活性を維持するための技術開発に我々は取り組んでいる。現在、ソゾから得られた化合物からいかにコストの安い化合物を設計するか、さらにその化合物を溶出させず活性を維持するための技術の開発に我々は取り組んでいる。



忍路湾のソゾ類