

平成 20 年 9 月 20 日 (土)  
15:00~16:20  
富山県民会館 302 号室

### 第 3 回 2 限目

## 海健康診断 —生物による沿岸環境モニタリング—

講師 富山県立大学短期大学部  
環境システム工学科 教授  
楠井 隆史 氏

### 1. はじめに

私は下水処理を専門にしているが、家庭の排水一つ考えてみてもさまざまな成分がある。それが一体どこまで処理されているか。従来は化学分析をして、ある物質が何 ppm 以下だから安全だと言っていたが、それが集まった処理水全体として本当に安全かどうかは、化学分析の値だけでは言えないだろう。そういうことから、いろいろなものが入っている複合的な水の安全性を、生物を使った試験方法で評価するという事に十数年前から取り組んでいる。今日はその中でも、特に海洋に関連付けたお話をさせていただきたい。



### 2. 海健康診断とは

最近の海はいろいろなことで汚れてきた。海に流れてくる植物やごみもその原因になっているが、最初に、海が本当にきれいかどうかを見る「海健康診断」について、私以外の研究も含めてお話したい。

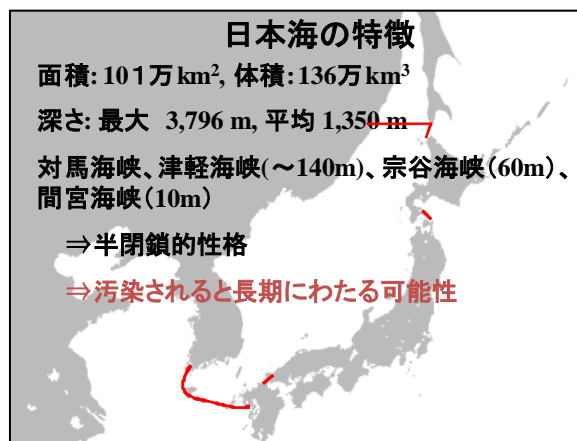
海とはどのようなものかという、特に沿岸部の海は、陸から栄養物を含むいろいろなものが流れてきて、それを植物プランクトンが食べ、その植物プランクトンを動物プランクトンが食べ、それを食べた魚を人間が回収していく。このように生態系が豊富であり、陸から海に流れた物質を最終的に人が陸地に上げるという物質循環が成り立っているのが、沿岸部の海のきれいな姿ではないかと思う。

しかし、ある研究グループが、生物組成、生息空間、生息環境、赤潮の発生、海水交換

平成 20 年度 富山県大学連携協議会公開講座  
第 3 回 2 限「海健康診断—生物による沿岸環境モニタリング—」

などを指標に、日本の閉鎖的海域の生態系の安定性と物質循環の円滑さについて調査した結果、きれいといわれる富山湾でも幾つかの指標がCランクになり、もう少し健康にした方がいいのではないかと指摘されている。視点を広げて日本海全体を見た場合、日本海を囲む対馬海峡、津軽海峡、宗谷海峡が非常に浅く、水の交換がなかなか行われなため、いったん汚染されると長期にわたってそれが続く可能性がある。従って、汚染要因を早めに摘み取ってしまわないと今の状態を保てなくなると思われる。

日本海は、海域面積の割に陸の集水域が小さい、滞留時間が非常に長い、海域面積当たりの流入淡水量が小さいなど、汚染されにくい特性を持っているが、周辺を取り巻く人口は急激に増えつつあり、1日当たり約 5000 t の有機物が入り込



んでいる。日本海は結構深くて大きいので、全体の体積で割れば水質への影響は微々たるものだが、沿岸部に限って見ると、やはりそれなりの影響を与える。また、ナホトカ号の油流出事故、ウラジオストックの原潜事故や海洋廃棄物、沿岸域の富栄養化などがあり、さまざまな化学物質が使われているということもよく考えなくてはいけない問題かと思う。

その一つの例として、平成 10~11 年に行われた水産庁と大阪市環境科学研究所の共同研究をご紹介します。海の中に入ってきたいろいろな物質は、最終的には泥の中に入ってしまうので、水中になくても実は底質中に結構残っている。そこで、底質を食べる底生生物から食物連鎖によって濃縮されていることはないかどうか調べるために研究が行われたのだが、そのときに着目したのが船底防汚材である。船底防汚材とは、燃料ロスの原因となるフジツボやムラサキガイが船底に付着しないようにする塗料で、ある時期にはトリブチルスズ (TBT) やトリフェニルスズ (TPP) が盛んに使われていた。その後、雌を雄化する環境ホルモン作用が認められたために使用が禁じられたが、この物質は分解しにくいので、環境中、特に泥の中に残っているのではないかと考えて、海水および底泥中の TBT・TPP 濃度を調べたわけである。

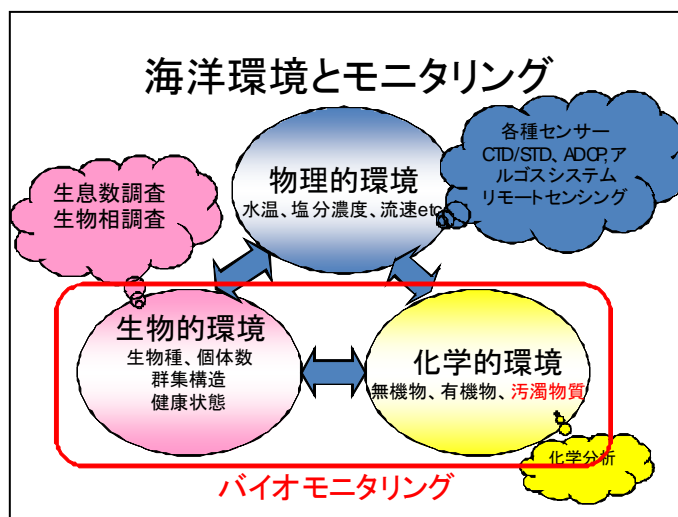
その結果、阿賀野川沖、若狭湾口、日本海の真ん中にある大和堆での濃度を比較すると、沿岸からかなり離れた沖合にもかかわらず、大和堆での濃度が非常に高くなっていることが分かった。理由の一つとして、TBTやTPPの使用は国際的には規制されているが、足並みがそろっていないわけではないので、まだ使用している国の船がこの辺りを航行することが考えられる。全面的な汚染はないにしろ、残念ながら幾つかこのような汚染が散見される状況があるということをお頭に置いておいていただきたい。

そういう意味から言うと、現状を把握し、被害が大きくなる前に兆候をとらえるためにもモニタリングは重要で、何か兆候が現れてくれば、積極的に対策に取り組んでいく必要があると思われる。

### 3. 海洋モニタリングの方法

海のモニタリングをするときには、物理的環境（水温、塩分濃度、流速等）と同時に、生物的環境（中にある生物がどうなっているか）、化学的環境（水質がどうなっているか）を把握していく。

現在はいろいろな技術が進み、物理的環境といっても船の上から測定するだけではなく、海中を沈みながら鉛直方向の水温や塩分濃度を測定し、そのデータを衛星経由で受け取れるという優れたシステムがある。そのほか、生物環境調査としては決められた場所での生息数や生物数を調べる漁業調査、化学的調査としては採取した水の化学分析などを行っているが、それらを生物を使って行うバイオモニタリングという方法がある。



### 4. 生物を用いた海洋モニタリング

バイオアッセイ（生物試験）とは、生物を用いて、生物反応より生物作用性を評価する方法である。例えば、新薬を開発するときに哺乳動物を使って有害性を調べたり、鉱山でカナリアを使って有害物質や酸欠状態を調べたりすることがこれに当たる。特に有害性のある化学物質に生物が暴露されると、最悪の場合、死んでしまう。これを急性影響と言うが、死ななくても、繁殖能力の低下が何代も続けば、その生物の種はいつかは絶滅してしまう。そういう意味から言うと、慢性的な影響も結構怖いものである。ただ、細かく見ると、そういうことが起きる前に行動の変化、免疫学的変化があったり、それに対する防御機構が働いたりする。そういうバイオマーカーをとらえて、その生物がすんでいた環境に何か有害なものがないかを判定するのが生物試験だと思っていただければよい。

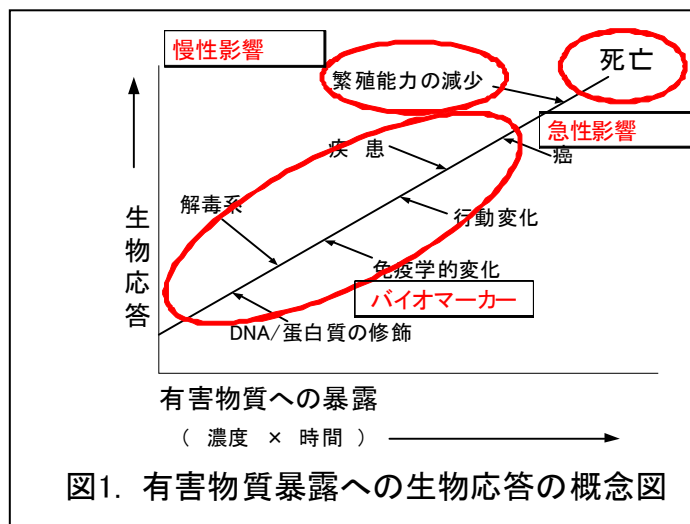


図1. 有害物質暴露への生物応答の概念図

生物試験には二とおりする方法がある。一つは、採取した試料水に生物を暴露した後、その生物の健康診断を行う方法、もう一つは、現場にいる生物を採取し、その生物に何か変化がないかを見る方法である。このような試験方法は海洋保全のためにいろいろ有意義な

平成 20 年度 富山県大学連携協議会公開講座  
第 3 回 2 限「海の健康診断—生物による沿岸環境モニタリング—」

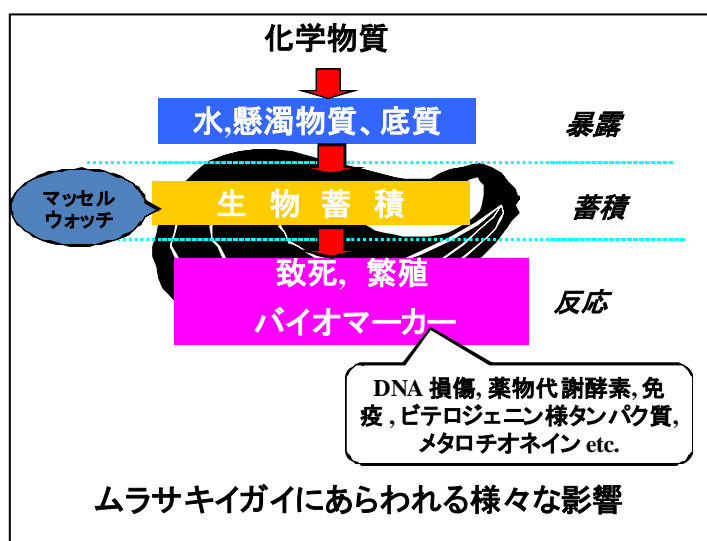
使い方をすることができる。例えば、ある化学物質を評価するとき微生物を使った試験を行うこともある。また、日本では化学物質による排水規制を行っているが、海外では生物試験で排水規制を行っている国が結構ある。そのほか、海洋のある一定の範囲の中で長期的に汚染が進んでいないか、ほかの地点と比較して汚染されていないかを見る海洋モニタリングにも、生物を使った試験方法が適用できる。

次に、実際の海洋の生物モニタリングについて、私どもの研究も踏まえてお話しする。海洋の生物モニタリングは、海の中の一次生産を支える藻類、ミジンコに相当するカイアシ類のチグリオプス、ヨコエビ、海産メダカ、ウニ、ムラサキイガイ、海の底の方にすむゴカイ類など、ありとあらゆる生物を使って行うことができるが、一番分かりやすい例がウニの受精である。人工的に放卵・放精させた卵子と精子を試験水に漬けておいて受精させると、通常はすぐ卵の周りに受精膜が形成されるのだが、有害物質が含まれていると受精膜が形成されないのである。それだけでなく、その後の発達においても、骨形成不全胚や異様な形の胚になる。そのようないろいろな観察をして有害物質の影響を見ることができるといふ試験である。

それから、イソイソゴカイは重金属に対する感受性が高く、試験方法としても有用である。例えば、イソイソゴカイを試料とする泥に 7 日間漬けておき、まずは生きていのかどうか、影響があったかどうかを見て、その間にどれだけ重金属を体内蓄積したかを調べるのである。最近は公害規制も進んで、排出される有害物質が少なくなっているが、泥の中にはいろいろな物質が残るので、泥のモニタリングは今後とも重要だろう。

水質モニタリングという観点では、ムラサキイガイを使った試験がある。ムール貝とも呼ばれる、ほとんどの漁港で見られる貝で、岸壁などにしっかりと着いて海水を吸い、その中のケイ藻などをこし取って栄養としているので、周辺水域の水質を反映しているといえる。これに着目して、マッセルウォッチ (mussel watch) という国連レベルの水質モニタリングプログラムも既に行われている。

われわれが行っていることの一つは、捕ってきたムラサキイガイから血液を採取し、血球細胞から貝の生息環境を読み取る試験である。遺伝毒性、つまり DNA に影響を与える物質がないかどうかを調べるコメット試験というものがあるが、この試験では、ある特殊な方法で処理することによって、血球細胞の中の DNA が傷つけられている場合には流れ星のように尾を引



いた画像が顕微鏡下で観察できる。県内の魚津、滑川、四方、新湊、国分といった漁港で貝を集めてこの試験をしてみたところ、理由は分からないが、一番影響が強そうなのは四

平成 20 年度 富山県大学連携協議会公開講座  
第 3 回 2 限「海の健康診断—生物による沿岸環境モニタリング—」

方だという結果が出ている。

もう一つ、重金属にも着目して調べている。ムラサキイガイの体内にある 6 種類の重金属の量を調べてみると、相対的には新湊が高め、魚津が少し低めという結果が出た。そのようなことをしばらくやって、海水中の重金属量と貝の体内にある重金属量との関係から、何倍ぐらい濃縮されてくるかを見ると、カドミウムは、濃度は非常に低いのだが 3 万倍ぐらい濃縮される。クロムは 1 万倍、亜鉛は、濃度は非常に高いのだが 3000 倍弱というように、金属によって濃縮する度合いが違うことが分かる。これには貝にとっての生理的必要性などが関係していると思われる。

世界と比較してどうかというと、香港など海外でも同じような重金属の量を調べた人がいるのだが、富山湾は高めに出ている。ただ、漁港というのは非常に閉鎖的な空間で、周りにある魚市場などからの排水で、ある意味では非常に汚れていて栄養も富んでいる。だからムラサキイガイが結構生息しているということもあるのだが、よく考えてみれば、当然狭い漁港の中ではこのようなこともあり得るわけで、これでは海洋モニタリングをする意味がないという反省から、さらに少し沖合も調べるようになった。そのときに指標にしたのがメタロチオネインというタンパク質である。

先ほどは重金属そのものを指標にしたが、実は、重金属を体内に蓄積するとメタロチオネインという特定のタンパク質が高くなることが分かっている。重金属には亜鉛、カドミウム、クロムなどさまざまなものがあるが、このタンパク質を調べることにより、それらの影響をトータルとして見るができる。メタロチオネイン自体は人間を含むいろいろな動物の体内にあり、金属と結び付いて解毒するという働きをしているので、このタンパク質がたくさんあれば、重金属に暴露されているという証拠になるわけである。

そのことを検証するために、捕ってきたムラサキイガイを実験室内でカドミウムに暴露した状態で 10 日間ほど置いておくという実験をしたところ、ムラサキイガイの体内のカドミウムが増え、それに応じてメタロチオネインも増えていくことが分かった。簡単な実験ではあるが、蓄積の指標にはなるし、金属種類を問わないので、重金属の影響を一括してとらえる指標となる。

次に、先ほどの反省を踏まえて、ある漁港から捕ってきたムラサキイガイをいったん実験室に持ち帰り、しばらく人工海水で飼って体内をきれいにした後、海域に持っていくという移植実験を行うことにした。そうすれば、もっと沖合の、実際の富山湾の汚染状況が分かるのではないかと思ったからである。そのときには、大体ムラサキイガイは水面直下辺りにいるので、10 月から 3 月まで定置網に貝をつるしておくという形で実験を行った。

その結果、例えば先ほどの重金属の蓄積の点では、魚津漁港の貝と魚津沖合の貝では、沖合の方が重金属は半分ぐらいに減る。四方でも同様である。つまり、沖合に出ると漁港内部と違ってかなり汚染が減っているということであり、逆に言うと、漁港は非常に特殊な環境だということであらためて思った次第である。それと同時に、重金属を蓄積したときに増えるメタロチオネインの量も、重金属のデータと近い傾向を示しているので、それなりの指標にはなるようである。細かい検討は必要だが、メタロチオネインが重金属の総合指標として使えそうだという感触を得ることができた。

海外でもこのような調査が幾つか行われていて、例えばカナダのセントローレンス川では、下水処理水の影響を淡水性のイガイを使って調べている。下水処理場の下流にイガイを 2 カ月近くつるして下水処理水に暴露すると、環境ホルモンのような影響があるということが分かったのである。人間の排せつ物の中にも女性ホルモンは結構含まれており、ここではそういうものも全部引くくめて環境ホルモンと言っているのだが、環境ホルモンの影響を示す指標が下水処理水によってぐっと増加する。つまり、下水処理水は貝に対して環境ホルモン様の作用をすることが示されたわけである。

## 5. 環日本海、地中海でのバイオモニタリング

このような生物を使ったモニタリングは、まだはっきりとした判定基準はないものの、韓国、中国、ロシアでも少しずつ始まっている。例えば、韓国では 2010 年から、排水規制にミジンコを使った試験を導入する。中国も、化学物質単品を使ってよいかどうかという判断に生物試験を使っている。特にヨーロッパとつながりがあった香港は、魚、エビ、アミ類、フジツボといった海産生物を使って、新しい産業排水や下水を海に流したときの影響の有無を事前にチェックする仕組みを持っている。

また、世界には日本海以外にも幾つか閉鎖的な海域があり、国連環境計画が、複数の国によって影響を受ける閉鎖海域の海洋保全のために地域海計画を作っている。その一番手になったのが地中海で、イガイ類や魚を使った沿岸域の汚染状況調査を、関係する複数の国で合意して、試験方法まで決めて行っている。われわれとしては、このような手法が環日本海にも適用されればと考えている。ムラサキイガイだけではなく複数の生物を使った調査を、中国、韓国、ロシアと連携を取りながら行っていきたい。

## 6. おわりに

環境基準は、基本的には人の健康を守るために作られたのだが、日本は生態系保全が遅れているとの指摘を受けて検討を進めてきた結果、数年前に水生生物保全のための環境基準ができた。それが実は亜鉛である。亜鉛は生物にとって必要なものではあるが、多すぎると水生生物に影響が出る。

今後もさまざまな物質の基準が設定されていくだろうが、今問題になっているのが、環境基準を作るための試験方法、特に海の生物を使った試験方法が日本では少ないことである。海外のデータは結構あるのだが、日本のデータをこれから取っていき、そのための試験方法を開発していき、環境省などが頑張っ取り組みつつある。

このように、生物試験は、海洋モニタリングだけではなく、その未然防止という観点からも重要になってきているということを知っていただければと思う。