



### 開放性海域と閉鎖性海域

学生 (以下「S」): 先生, 前は水質を表すいろいろな指標を教えてくださいました。

先生 (以下「T」): そうだったね, 今回は, 海の話をしよう. 海といっても, ハワイや沖縄のような海ではなく, 東京湾や大阪湾のような海の話。

S: どのような違いがあるのですか?

T: 地図を見てごらん. ハワイや沖縄は陸から広い海が広がっている開放性海域 (開放性海域) だ. 東京湾や大阪湾は陸に囲まれたような, 閉鎖性海域 (閉鎖性海域) だ。

S: 開放性海域は澄んだ海が, 閉鎖性海域は豊かな海が多いということですね。

T: そのとおり. ただ, 過去数十年をさかのぼってみれば, 閉鎖性海域は問題が多いことは明らかだ. たとえば, 水俣病のような重金属汚染や, 植物プランクトンが異常に繁殖して発生する赤潮, ほかに, 硫化水素を含んだ酸素のない水が海面に上がってくる青潮の発生などがある。

海運や水産など海で営まれる活動によって, あるいは, 陸域からの排出物が海域に流出すること, さらに, 流れが緩やかで物質が外海に出て行きにくい, つまり海域内に留まりやすいなど, いくつもの要因が絡み合って起こるんだ。

### 水質規制の変遷

S: ということは, 人間活動の結果として排出されるものが海に出ないようにすればいいんですね。

T: そうなだけではなかなか簡単じゃない. 人間の数は増え続けているからね. それで, 海域の水質をコントロールするためにいろいろな法律ができてきたんだ. 公共用水域の水質保全に関する法律 (水質保全法, 1958年), 工場排水等の規制に関する法律 (工場排水規制法, 1958年), 水質

汚濁防止法 (1970年), 瀬戸内海環境保全特別措置法 (1973年) など, 埋立造成や栄養塩の排出総量などが法律によって規制された結果, 海域の水質改善も進み, 今の海域環境があるのだね。

### 「海的环境修復」の指標

S: 現在ではどんな取り組みをしているのですか?

T: たとえば, 大阪湾再生行動計画を見てみようか. 下表に示すような自然再生の目標とその指標が挙げられている。

底層 DO (溶存酸素), 表層 COD (化学的酸素要求量) など, 数値が示されている指標と, 干潟や藻場・浅場・砂浜・磯浜・緑地などの面積や, 自然的な海岸線の延長, ごみの量のように, 数値目標を示すのが難しい指標があることがわかるね。

S: 指標が, 底層は DO で表層は COD と, 違うのはどうしてですか?

T: いいところに気がついた. それは, 「海的环境構造」と深い関係があるんだ. 海域の溶存酸素の分布を話すことで, 「海的环境構造」について説明しよう。

### 海的环境構造

T: まず, 海水中の溶存酸素がどうして増えたり減ったりするかを, 図 (次頁) を見ながら整理してみよう。

溶存酸素が増加する要因は,

- (1) 海水面を通じて大気から酸素が溶解する
- (2) 植物プランクトンの光合成によって酸素が生産される

表 大阪湾再生に係わる具体的な目標及び指標<sup>1)</sup>

具体的な目標	指標
年間を通して底層生物が生息できる水質レベルを確保する	底層 DO ・ 5 mg/ℓ 以上 (当面は 3 mg/ℓ 以上)
海域生物の生息に重要な場を再生する	干潟, 藻場, 浅場等の面積 砂浜, 磯浜等の延長
人々の親水活動に適した水質レベルを確保する	表層 COD ・ 散策, 展望: 5 mg/ℓ 以下 ・ 潮干狩り: 3 mg/ℓ 以下 ・ 海水浴: 2 mg/ℓ 以下 ・ ダイビング: 1 mg/ℓ 以下
人々が快適に海に触れ合える場を再生する	自然的な海岸線延長
臨海部での人々の憩いの場を確保する	臨海部における海に面した緑地の面積
ごみのない美しい海岸線・海域を確保する	浮遊ごみ, 漂着ごみ, 海底ごみ

(3)海藻・海草類の光合成によって酸素が生産されるなどがある。(1)と(2)は表層で、(3)は底層で酸素が増える要因として分類できる。溶存酸素が減る要因としては、

(4)プランクトンや魚貝類、海藻・海草類による呼吸  
(5)生物の死骸などがバクテリアなどによって分解されるとき消費

(6)還元物質が酸化される際の消費

などがある。プランクトンをはじめとして生物の死骸(デトリタス)は水底に堆積するので、一般的には(5)の酸素消費は水底で多い。(6)は、酸素が少ない状態で水中に存在する鉄、硫黄などいろいろな物質が酸素と結びついて、より安定した状態に変化しようとして酸素を消費するわけで、これも一般的には水底で多い。

S:おもしろいですね。表層では酸素が増える要因が、底層では酸素が減る要因が多いのですね。

T:そうだね。ただ、誤解のないように言っておくと、ここでの話は、閉鎖性海域によく見られる傾向であって、どの海にも共通しているわけではないよ。

S:なるほど。川の水といっしょに栄養塩が陸から流れ出て、しかも、閉鎖性海域であるから留まりやすく、植物プランクトンが発生しやすいということですね。

T:そのとおりだ。港湾では、防波堤などで波や流れの影響が少ない穏やかな海域を人工的に作っているね。どういうことかというと、

(7)港湾海域の内外の水の交換(海水交換)が少ないということの意味している。さらに、大阪湾などは河川水の影響が大きい地域に港湾があるね。

夏は、こうした海域では、表層は低塩分・高水

温、底層では高塩分・低水温の状態になりやすい。表層の水は密度が低く、底層の水は密度が高い状態になるのだよ。こうなると、

(8)表層の水と底層の水は混合(鉛直混合)しにくくなる

のは簡単に想像できるね。表層水と底層水が混合できないということは、酸素が多く含まれている表層水と酸素の少ない底層水が混合できないことを意味しているのだから、表層ではますます酸素が多い状態(過飽和状態)に、底層ではますます酸素が少ない状態(貧・無酸素状態)になるのだ。

S:そうか。だから、海の環境修復の指標として、底層ではDOがある値以上になり、表層ではCODがある値以下になることが必要なのですね。たしかに、大阪湾の水質一斉調査の結果<sup>2)</sup>を見れば、底層DOは港湾海域では少なく湾中央部では高くなっています。また、表層CODは湾奥部港湾海域では高くなっていますね。

#### 海の環境修復のひとつの考え方

T:こんな風に閉鎖性海域の「環境の構造」をながめてみると、どうだろう。溶存酸素の分布にムラがあることが問題だという見方ができるのではないかな。

もともとムラのできやすい環境構造なのに、さらに人間活動がそのムラを助長するように作用している。この見方が正しいとすれば、閉鎖性海域の環境修復として溶存酸素分布のムラが少なくなるような提案が求められるということができないのではないかな。もちろん、溶存酸素ができる限り豊富にある状態だね。

S:そうですね。まず、表層で植物プランクトンが増殖しすぎることが課題ですね。だとすると、

まずは、陸域からの栄養塩をできるだけ海に出さないようにすることかな。それと、港湾海域の表層の水を港湾海域の外に出すことも対策のひとつになるかな。

T:そうだね。下水処理施設の高度処理などによって栄養塩対策がされているね。ただし、最近では「のり養殖を行うには栄養塩が不足している」との指摘があるように、海域に出てくる「栄養塩の質」が問われるようになって

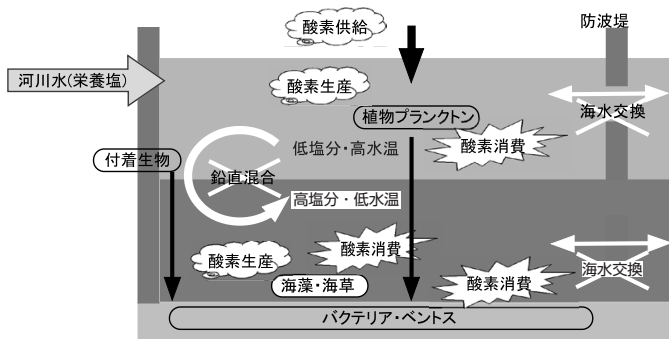


図 港湾海域の環境構造の模式図

きた。海藻・海草類が利用しやすい栄養塩についても考えないといけないという指摘がある。とても難しい問題だね。

表層水を港湾外に出すというのは、港湾の利用の便を損なわずに海水交換の良い港湾を実現するにはどうすればよいか、という、これもまた難しい問題だね。

S：底層では、デトリタスが過剰に堆積することが問題ですよ。そうすると、植物プランクトンが増えすぎるという表層の問題が解決すれば一定の成果が期待できますよね。でも、表層の問題解決が難しいのなら、海底に堆積するデトリタスの量を低減する、あるいは、デトリタスを分解するのに必要とされる酸素量よりも多くの酸素を底層に供給するというのも考えられるのではないですか？

T：なるほど。港湾海域には鉛直護岸が多くて、ムラサキイガイなどの付着生物が生息しやすい。付着生物が死亡すると海底に堆積することになる。植物プランクトンだけでなく、このような付着生物も、バクテリアによる分解を介して溶存酸素を消費していて、港湾ならではの酸素消費要素かもしれないね。デトリタスを分解するのに必要な酸素よりも多くの酸素を供給するというのも大切な視点だね。鉛直混合を促進すれば、あるいは、表層水と底層水の密度差を解消することができれば、達成できるかもしれないね。

S：表層と底層の密度差ができないようにするひとつの手段として、水深を浅くすることも考えられますよね。

T：そのとおりだね。港湾海域で水深を浅くすることは、利用の便と相反すると思うので実現は難しいかもしれないが、そこはアイデアの出どころだね。浅い場所を作ると海底まで光が届くようになるので、海藻・海草類による酸素生産が期待できるようになるね。

S：海藻や海草が生存できるようになると、小魚や貝類などが生存できるようになると聞いたことがあります。

T：だけと実際には、海藻・海草類が繁茂しすぎて海底を覆い、その結果として酸素がなくなりこれらが腐るときに出る悪臭に困るという課題もあるの

だ。北京オリンピックのボート競技場でアオサが水面を覆いつくした映像が報道されたこともあったね。閉鎖性海域の環境修復はなかなか難しいね。

S：そうですね。結局は、植物プランクトンや海藻・海草類が適量だけ生息するような環境にすればよいように思うのですがいかがでしょうか？

T：「適量」というのが難しいね。何をどの程度に変えれば適量になるのか、ということが十分わかっていないからね。最近では、過剰な海藻・海草類を人為的に海域から取り出して(系外除去)、エネルギーとして利用しようという動きもあるが、どの程度取り出せば海域環境にとって適切なのかは判断が難しいね。また、海岸近くの浅場で海藻・海草類を取り出すことによって栄養塩を系外除去すると、閉鎖性海域の中央部や外洋への栄養塩供給が減少することになるね。このことが閉鎖性海域の生態系や近隣外洋の生態系に及ぼす影響についても考える必要があるのではないかなあ。

たしかに、閉鎖性海域の環境を改善するには、短・中期的には人間の関与が必要かもしれない。けれど、中・長期的には、人間の関与がなくても望ましい環境になるような方策を考える必要があると思うのだよ。どうかな？あるいは、人間の関わりが「環境の構造」の一役を担う存在になるのであれば、それは環境修復と呼べるのではないかな。

S：難しいですね。でも、地球表面の約70%を占める海のなかで閉鎖性海域の占める割合はごくわずかですが、そのわずかな海域が豊かな海となり得るのだと考えると、閉鎖性海域の環境を維持あるいは改善することは、人類にとってとても大切なことのように思えてきました。ありがとうございました。

## 参考文献

- 1) 大阪湾再生推進会議：“大阪湾再生行動計画”，(オンライン), 入手先 <<http://www.kkr.mlit.go.jp/plan/kaigi/1-1.pdf>>, (参照日: 2009-08-01).
- 2) 大阪湾再生推進会議：“「大阪湾再生」水質一斉調査について”, (オンライン), 入手先 <<http://www.kkr.mlit.go.jp/plan/suishin/suishitutyosa/index.html>>, (参照日: 2009-08-01).

重松孝昌 (大阪市立大学大学院)