

# 富栄養

目次	富栄養による被害	8
富栄養とは？	富栄養の原因	10
富栄養化の現象	富栄養化を防ぐための環境目標	12
富栄養化の進行	富栄養化の防止対策	14
富栄養化のしくみ—N・Pの循環	美しく豊かな湖・海をとりもどし、子孫に伝えよう！	18







## ●富栄養とは?

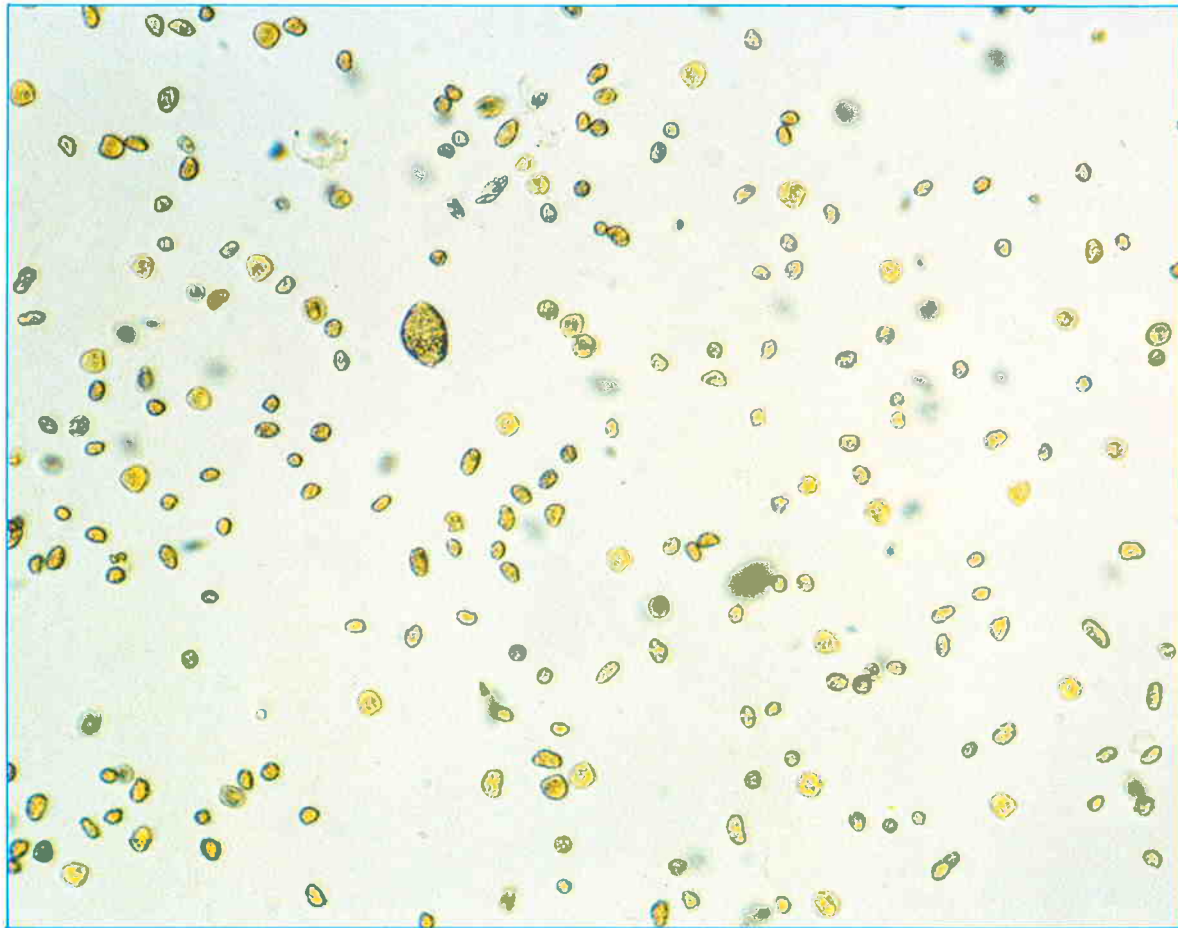
みなさんは、滋賀県で琵琶湖の水をきれいにするために、Pを含む合成洗剤の使用が禁止されたことを知っていますか。これは、正式には、「**滋賀県琵琶湖の富栄養化の防止に関する条例**」という条例が昭和54年10月に制定されたことによります。茨城県でも、昭和56年12月の県議会で霞ヶ浦について同じような内容の「**富栄養化防止条例**」が可決されました。

NやPは陸上では植物の重要な栄養素ですが、湖や海に過度に流れ込むと植物プランクトンがふえ、さらに、ひどくなると異常繁殖によって湖や海の色が変わる赤潮現象をひき起こします。このように、

湖や海の栄養分が多いことを“**富栄養**”といます。この富栄養にもいろいろな段階があって、富栄養が進んで環境が悪化した状態を過栄養とよぶこともあり、このパンフレットに登場してくる霞ヶ浦や東京湾は過栄養とよぶほうが適切かも知れません。

富栄養になってくることを“**富栄養化**”といますが、最近の約20年間で海や湖の富栄養化が急速に進んで、それによる被害がひどくなってきており、水産資源の保護・培養や、海水浴・潮干狩・その他のレクリエーションの場の保全のために、富栄養化の防止が重要な問題となっています。

赤潮をひき起こすプランクトンの光学顕微鏡写真



## ●富栄養化の現象

富栄養化が進んでいない状態（貧栄養とよぶ）とそれが進んだ状態を、夏の湖と海を例にとって比較してみましょう。

私たちが見てすぐ目につくのは水の色がちがいで、貧栄養である摩周湖(北海道)はあい色なのに対して、富栄養化が進んだ諏訪湖(長野県)では緑のじ

ゆうたんを敷きつめたようです。これはラン藻類のミクロキスティス（アオコとよばれている）の大発生によるもので、湖水の汚濁が主原因といわれています。直径30cmの白色の円板を沈め、見えなくなる水深を透明度といいます。摩周湖では透明度が40mにも達するのに、諏訪湖でアオコの大発生しているところでは、0mに近い状態です。

摩周湖



諏訪湖のミクロキスティス







# ●富栄養化の進行

海の場合にも、貧栄養である黒潮域ではあい色、一方、富栄養化の進んだ東京湾や伊勢・三河湾、瀬戸内海では黄緑色または茶褐色になることがあります。このような水色の違いは、主に植物プランクトンが多いか少ないかによって決まります。透明度も植物プランクトンの多い水域では1m前後と低い値を示すのに比べ、黒潮域では約30mという値になります。植物プランクトンの量は、植物に特有の葉緑素(クロロフィル)の量で示されますが、アオコの発生している諏訪湖では湖水1m<sup>3</sup>当たり100~200mgにもなり、東京湾でも同様の値を示します。一方、摩周湖や外海では多くても1m<sup>3</sup>当たり1mg程度です。

NやPの量を比較してみると、東京湾の湾口部では、無機態N約0.02ppm、リン酸態P約0.003ppmであるのに対し、湾奥部ではそれぞれ0.6ppm、0.1ppmと非常に富栄養化した様子を示しています。

また、富栄養化した海域の底の方では、上層から植物プランクトンの死がいなどの有機物が沈降してきて、これが海底にいる細菌によって分解されます。このとき、海水中に溶けている酸素(O<sub>2</sub>)が消費されるので酸素不足の状態(この状態を貧酸素とよぶ)となり、ひどい場合には魚や貝が酸素不足で死んでしまいます。

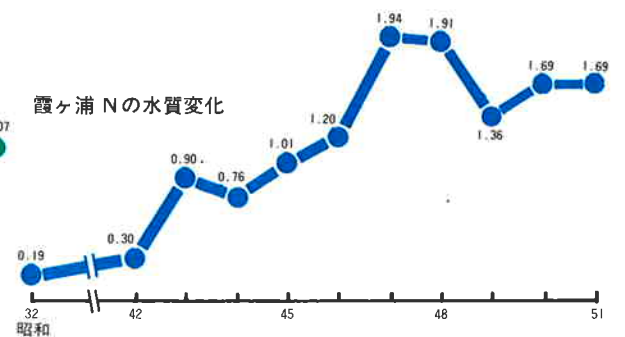
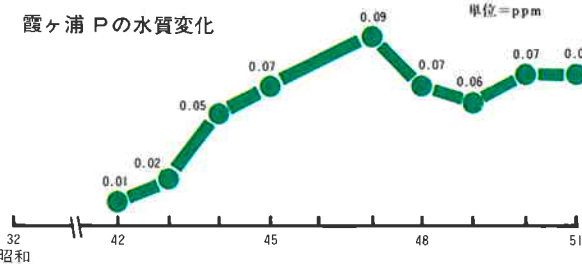
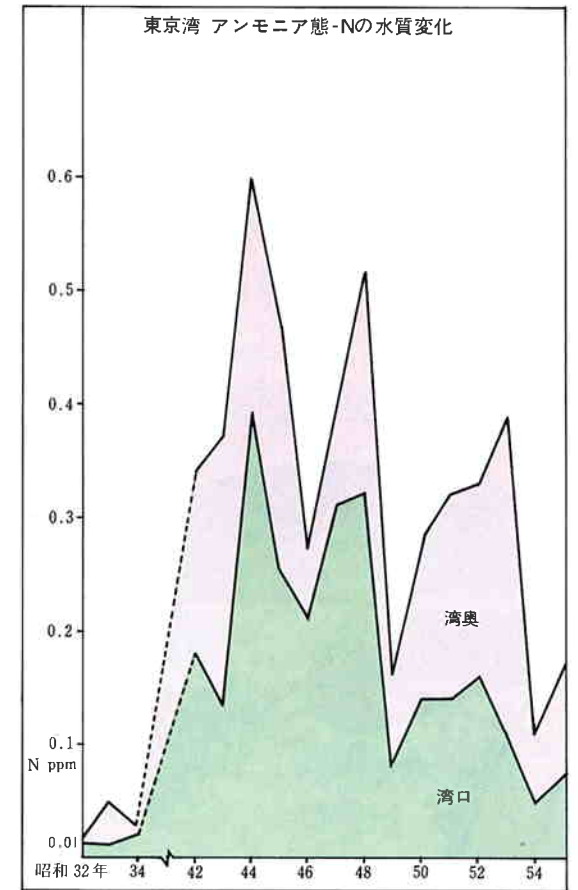
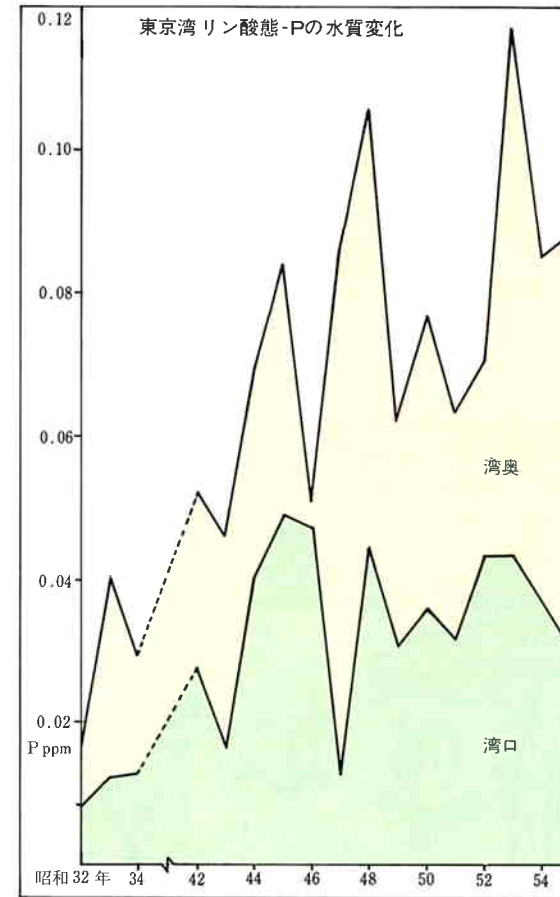
東京湾の奥部海域・湾口海域におけるNのうちのアンモニア態Nとリン酸態Pの水質変化を千葉県水産試験場が調べた結果を図に示しました。これを見てもわかるように、東京湾では海域の富栄養化は昭和32年ごろから徐々に進みはじめ、とくにアンモ

ニア態Nは、昭和38年から急激に増加しています。また、湖や沼についても同様に、図に霞ヶ浦の水中のNとPの濃度変化の例を示しましたが、やはり、昭和40年以降富栄養化の進行がめだっています。

東京湾奥部 海面の着色



東京湾湾口部 観音崎付近







# ●富栄養化のしくみ

チッソ リン  
N・Pの循環

湖や海に運ばれたNやPは、水中でいろいろに変化し、移動しながら一部は湖内や湾内に蓄積し、残りは湖外や湾外へ排出されていきます。この変化や移動を“物質循環”とよびますが、そのしくみを理解することは重要なことです。これを湖と海についてみてみましょう。

## ① 湖における物質循環

下の図に夏における湖の物質循環を示しました。河川水に含まれるNやPの大部分は水に溶けている無機態のもので、これを栄養塩とよんでいます。Nの場合はアンモニウム塩、亜硝酸塩、硝酸塩、Pの場合はリン酸塩です。湖では、これらの栄養塩類を利用して植物プランクトンが増殖します。ときには諏訪湖の写真でみられるようにアオコが大量増殖し、湖面が濃い緑色になります。

次に、この植物プランクトンが死んだり、あるいは他の生物に食べられて糞になったりして湖底に沈み、ここで細菌が水中に溶けている酸素を使いながらこれらを分解して、再び栄養塩にもどします。このため湖の下層では、溶けている酸素が少なくなり、栄養塩類が豊富になります。

低気圧の通過などで湖水がかきまぜられたり、上層の水が湖岸へ吹き寄せられその反対側の湖岸に下層の水がわきあがったりすると、この栄養塩が下層から上層に運ばれることになり、再び植物プランクトンの増殖に寄与することになります。

## ② 海における物質循環

次に夏における内湾の物質循環を模式図で示しました。内湾の場合も湖と同様なことがいえませんが、

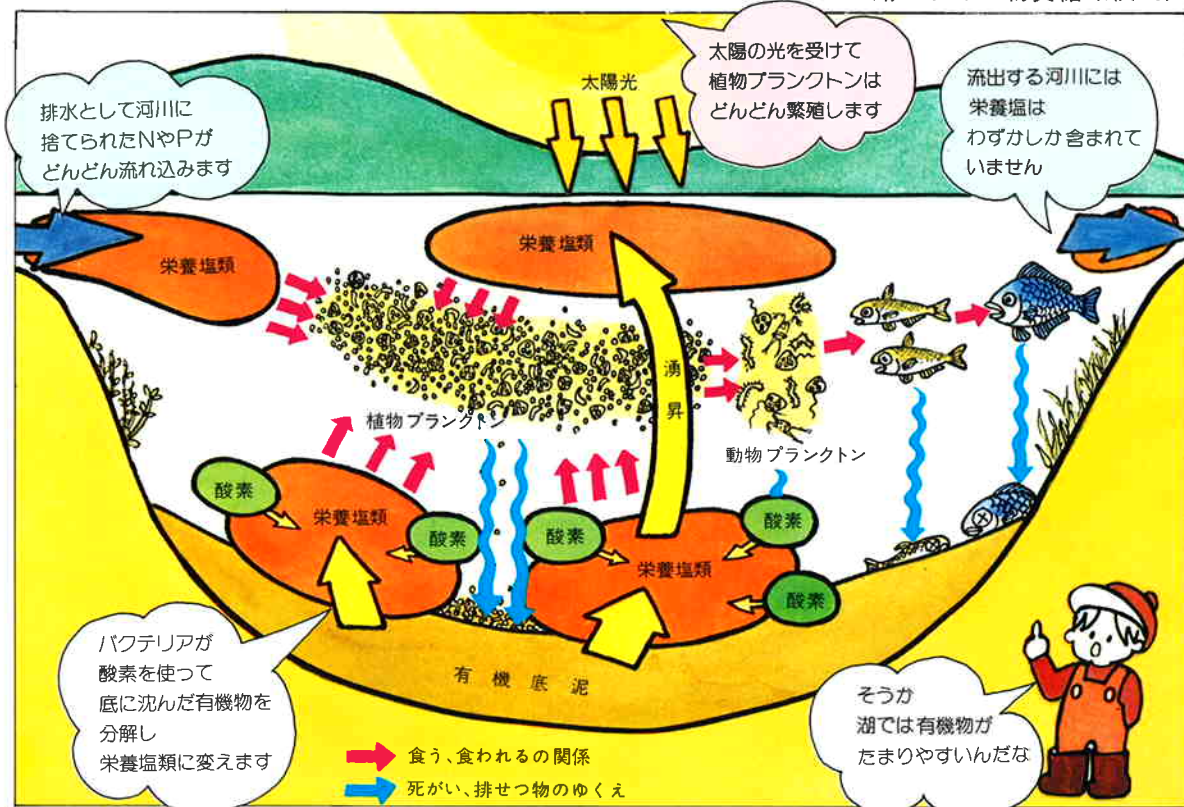
内湾の場合は湾口で外海と通じていて、上層部では奥部に流入した河川水が湾口部に向って流れ、下層部では湾口部から外海水が湾奥部へ流れ込みながら上層部にわきあがっていきます。この場合もやはり上層から沈降してくるプランクトンなどの死がいや下層で分解され、栄養塩類の豊富な下層水が上層に運ばれて、プランクトンの増殖を促進します。

下層から上層に運ばれる栄養塩類の量は、愛知県三河湾の例をとると、河川水中に含まれる量の2～3倍と見積られています。一度湖や内湾に流入したNやPは、そのまま湾外へ排出されるのではなく、いろいろに変化して、その一部は沈降し、分解後上層に運ばれ、再び沈降するというように湾内を再循環するわけです。

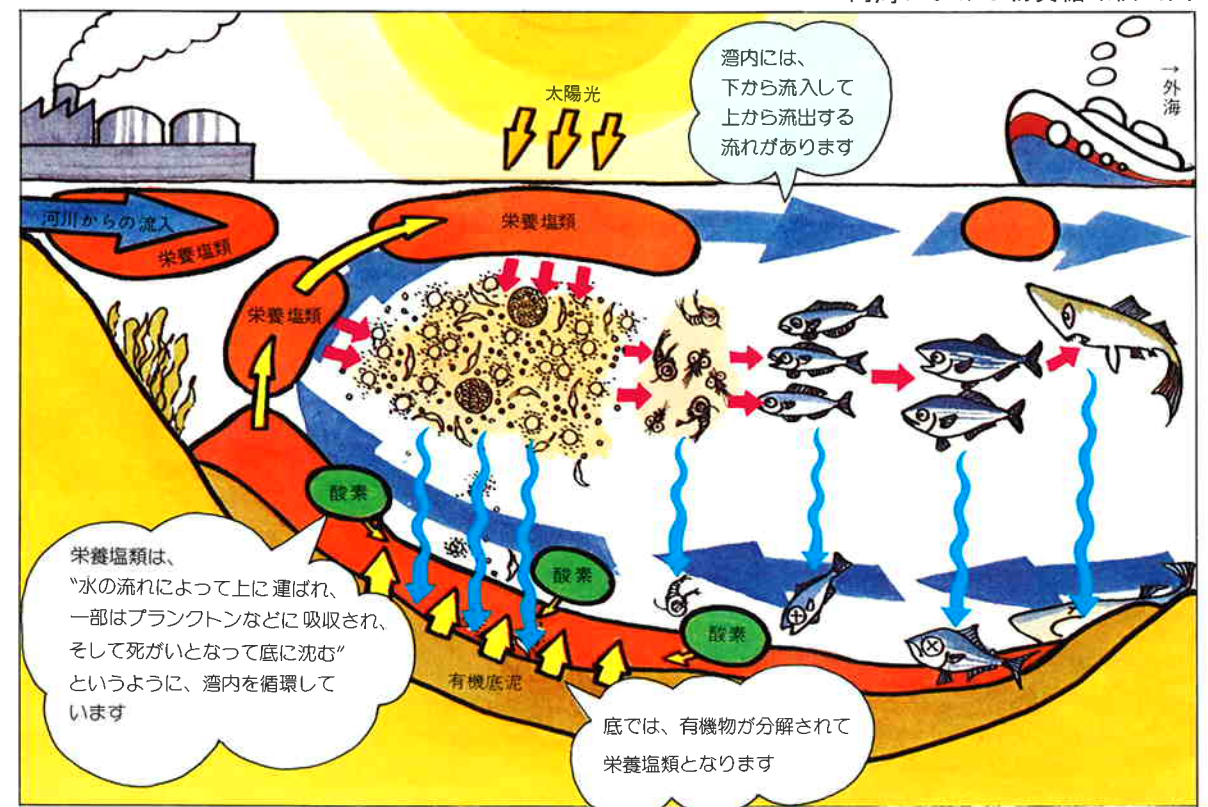
夏の諏訪湖の研究例では流入してくるNの75%、Pにいたっては95%が湖にとどまり（大部分は湖底に沈降）、天竜川に流出するのはNで25%、Pでは5%にすぎません。内湾の場合には、たとえば、三河湾の研究例では、流入するNの30%、Pの90%が海底に蓄積していくという報告もあります。また、上層から沈降してきたプランクトンの死がいなどは下層ですぐ分解されるだけでなく、一部は底にたまって底泥となり、その後少しずつ分解されて栄養塩類として溶け出し、再び湖の底泥も栄養塩の供給源となっています。

以上が富栄養化のしくみです。

湖における物質循環模式図



内湾における物質循環模式図







# ●富栄養化による被害

## ①赤潮による魚貝類のへい死

瀬戸内海の養殖ハマチが夏に赤潮発生によって大量に死ぬことがあるのはよく知られていますが、ハマチだけでなく他の魚貝類も影響を受けています。

## ②貧酸素や青潮による魚貝類のへい死

夏には、富栄養化した水域の下層部では酸素が欠乏して、底に棲んでいる貝や魚が大量に死ぬことがあります。また、陸から海へ強い風が吹くと、上層部の水が沖側に運ばれるため、それを補う形で下層部の酸素の少ない水が岸近くにわきあがります。この現象は青潮とか、あおしほ苦潮とよばれ、ときには、硫化水素のにおいさえすることがあります。このようなときはアサリなどの貝類が死んだり、魚類が呼吸困難となって大量に死ぬことがあります。

## ③飲料水への影響

湖で大量に発生するプランクトンによって、浄水場の汙過池が詰まったり、水が臭くなったりします。

琵琶湖を水源としている京都府や大阪府では年によっては夏に水道水が臭くなることがあります。

## ④生物相の変化

一般に富栄養化が進むと、その水域での魚貝類は量的には増加しているのに、逆に種類数は少なくなり、とくに高級魚といわれるものの減少がめだちます。瀬戸内海では、高級魚のタイが減少し、イワシ類が増加しています。また、湖でもマス、ワカサギなどが減少し、コイ、フナ、ウグイなどが増えてきます。

## ⑤レクリエーションへの影響

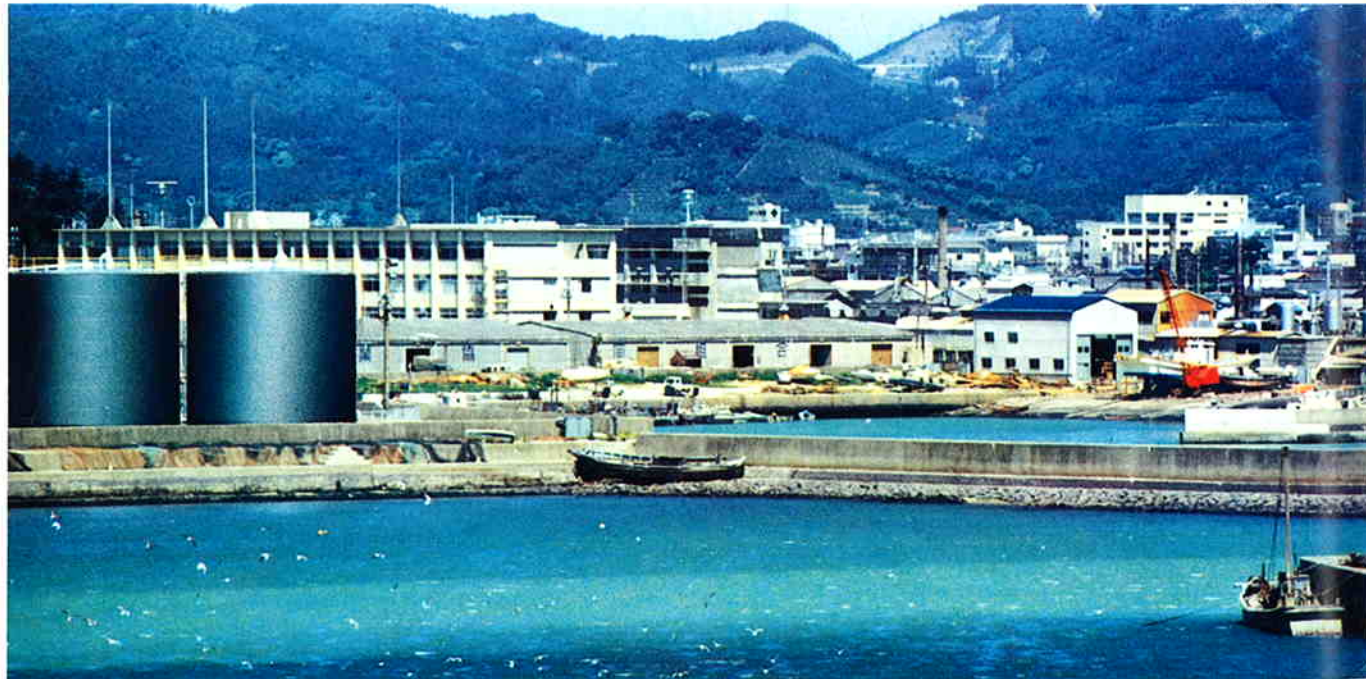
水域で大量のプランクトンが発生し、湖や海の色が変わると、不快感だけでなく、場合によっては不衛生となり、水泳場が閉鎖されたりします。また、プランクトンなどの沈降のために、その浜辺が砂から泥に変化したり、ときには腐敗臭を発したりして自然の景観を損います。

貝類のへい死



魚類のへい死(いけすの中でハマチが死んで浮いている)

青潮





# ●富栄養化の原因——各種排水



湖や内湾には、主として河川を通じてNやPが流入して富栄養化を進行させています。このNやPは工場排水、家庭排水、農畜産排水に多く含まれています。

工場排水は昭和40年代の高度経済成長時代に急速に増加しました。家庭排水には、し尿や炊事洗濯などの雑排水があります。し尿による1人1日当りのN排出量は9.0g、P排出量は1.1g、雑排水ではNが

3.0g、Pが0.9g、(雑排水のPは主として洗剤に含まれているものです)と推定されています。家庭排水は当然人口が増加すると増えることになります。農畜産排水は、田畑に加えられた肥料の流出や家畜糞尿によるものです。

これらの各種排水は下水処理場などで一部は処理されますが、その場合でもNは主に硝酸塩に、Pは

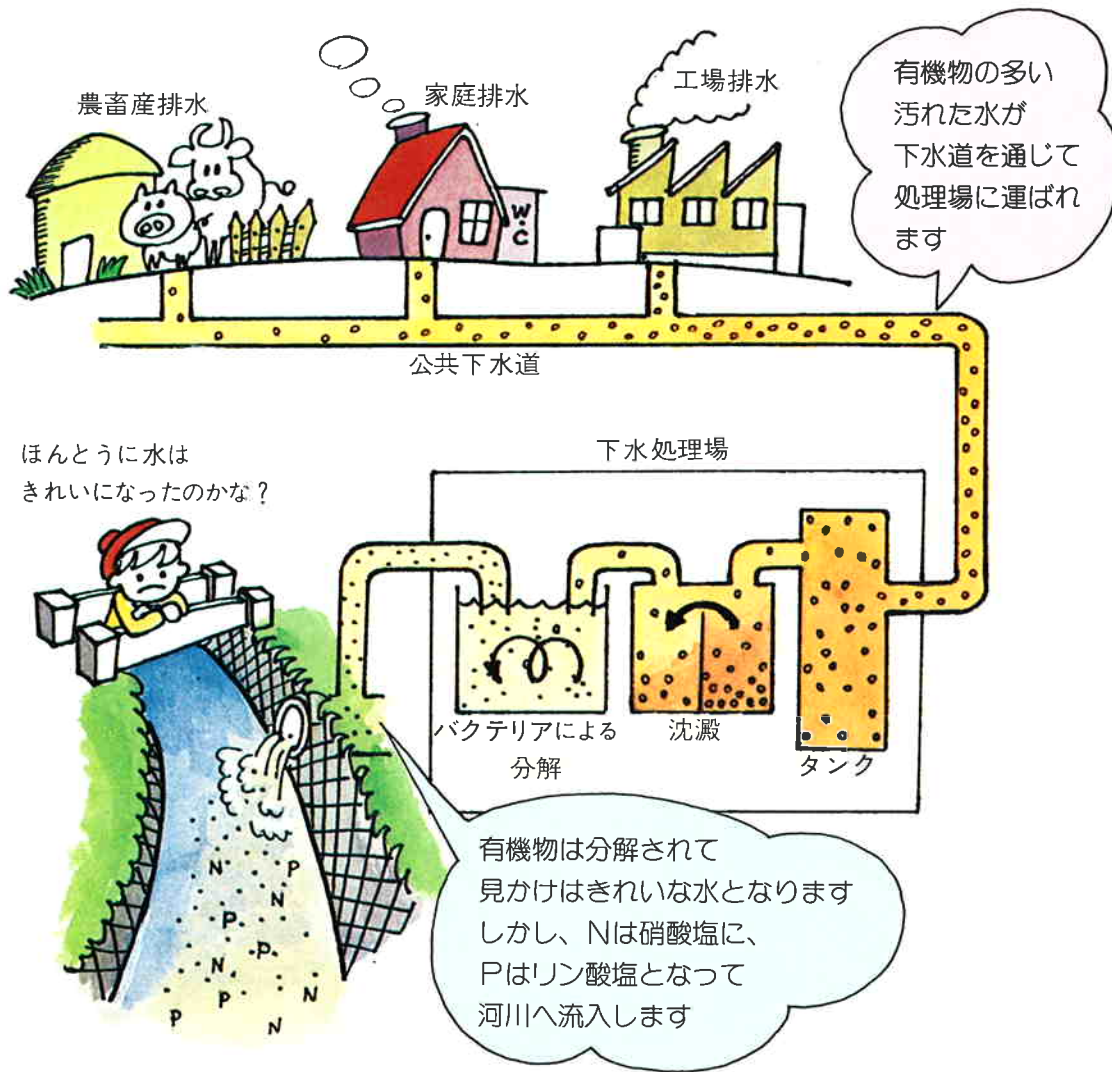
リン酸塩となつてかなりの部分が除去されずに湖や海に流出します。この量とNやPの発生源の量とくらべて、湖や海に流出する割合を流出率とよびます。これは場所によって異なりますが、ふつう60~70%ぐらいです。

これらの各種排水の割合は図に示したように、それぞれの地域によって異なります。東京湾の場合は工場排水がNで40%、Pで15%を占めているのに、

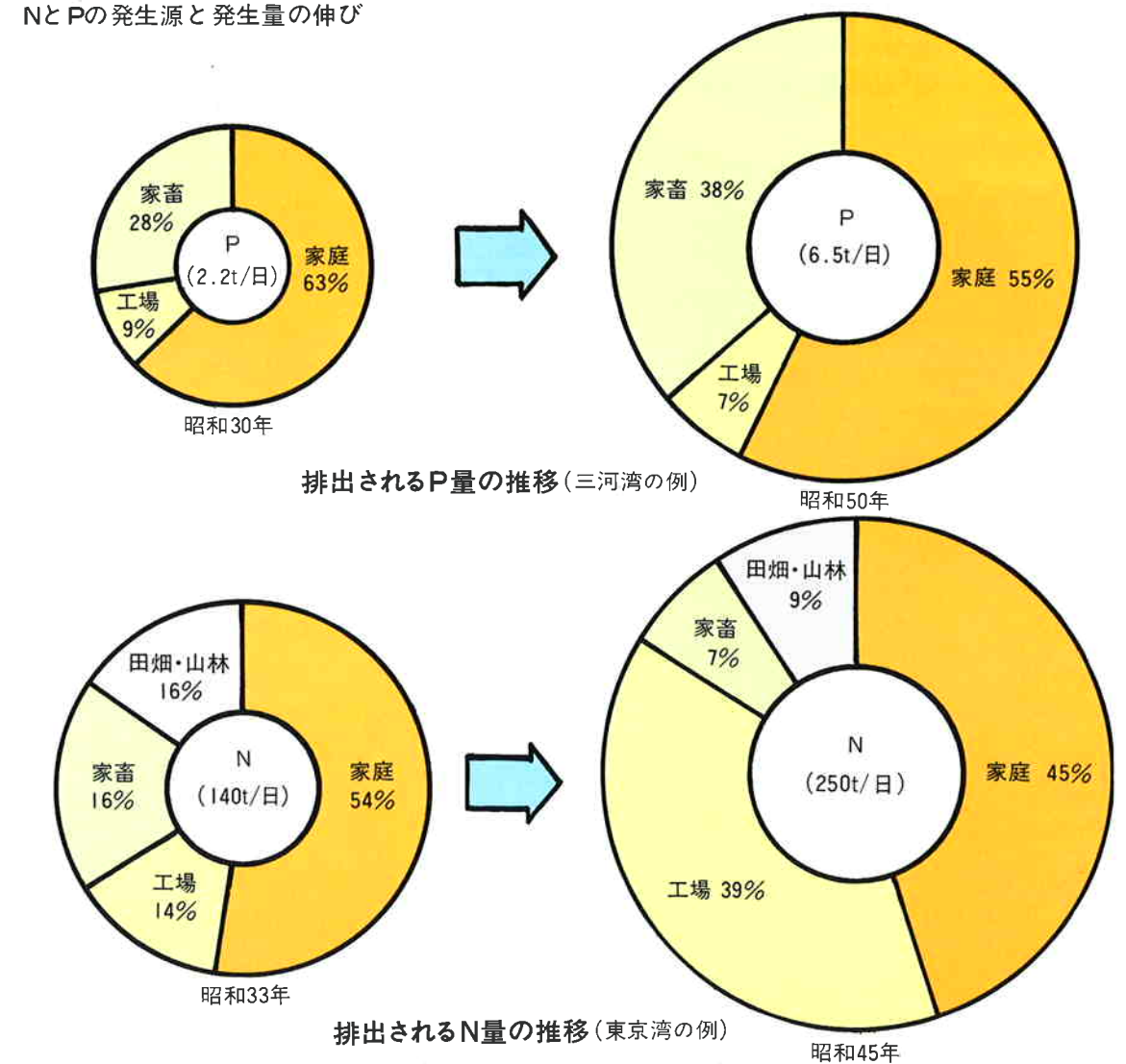
三河湾の場合ではNで12%、Pで6%であり、逆に農畜産排水は、三河湾ではかなり大きな割合を占めています。

このほか、近年、内湾や湖で魚貝類の養殖が盛んになるにつれて、地域によっては、食べ残しの餌や養殖生物の排泄物などが養殖場周辺の底にたまり、これが富栄養化の進行の一因ともなっています。

排水の模式図



NとPの発生源と発生量の伸び







# ●富栄養化を防ぐための環境目標は？

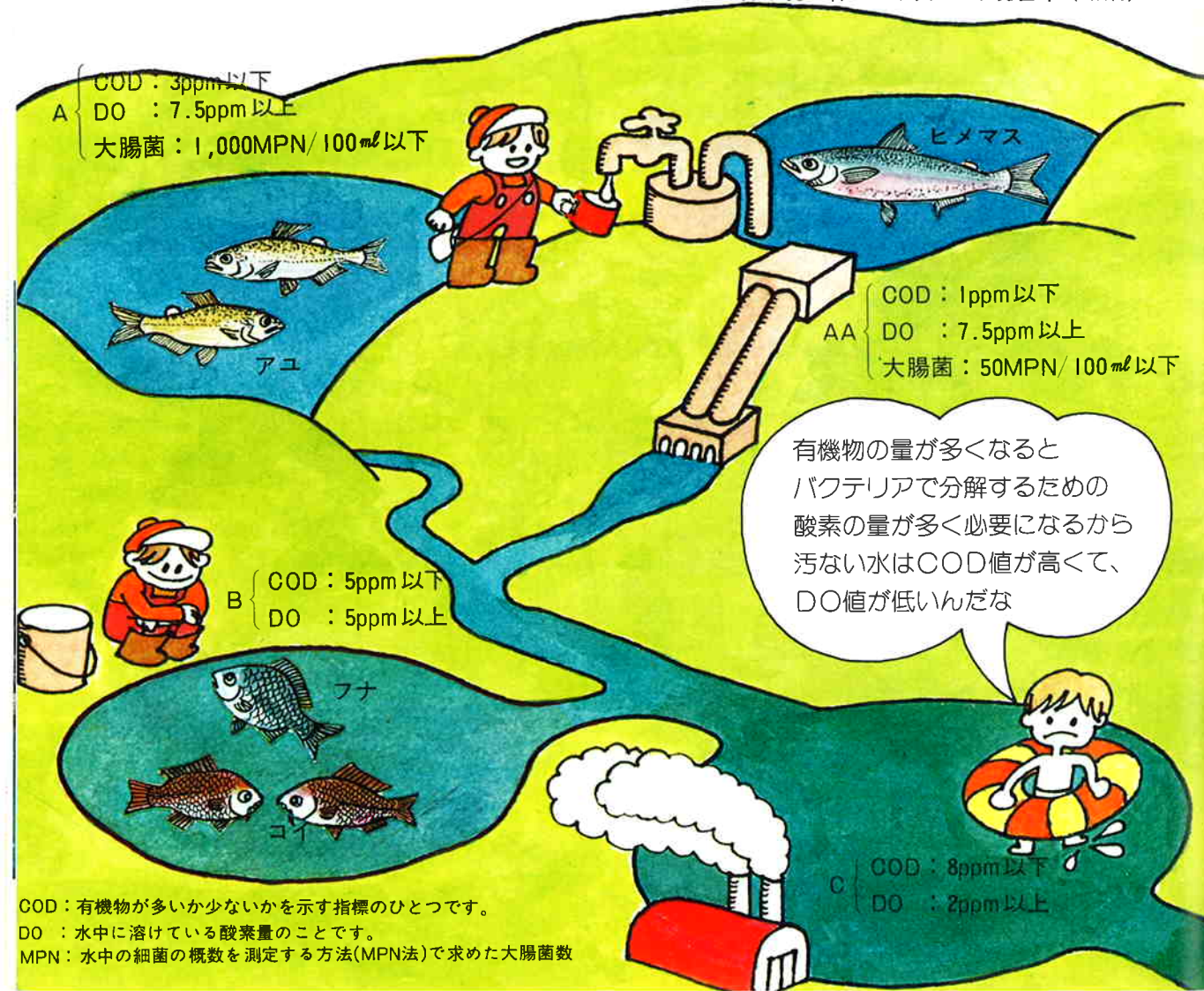
前頁のように、各種排水の流入の増加に伴い富栄養化が進行して、水域の環境が悪化していくわけですが、富栄養化防止に関する環境目標は現在十分に確立されていません。現在の水質環境基準では、図に示したように有機物量のひとつの目安であるCOD(化学的酸素要求量)などについて基準値が設定されているにすぎません。

しかし、富栄養化の特徴は湖水や海水に含まれるNやPを利用して植物プランクトンが増殖することにあるので、COD規制だけでは不十分です。なぜかといいますと、有機物が分解されれば見た目には

川などはきれいになりますが、有機物は硝酸塩やリン酸塩に形をかえて、湖や海に蓄積されるからです。

水産業の立場からまとめられた「水産環境水質基準」(日本水産資源保護協会 昭和47年)では、水生生物の生育に望ましい環境として、一般の海域では、CODは1ppm以下であること、暖流系の内湾・内海で連続長期にわたる赤潮の発生を避けるためには無機態N0.1ppm以下、無機態P0.015ppm以下であることを提案していますが、まだ法的に認められたものとはなっていません。

生活環境の保全に関する環境基準(湖沼)



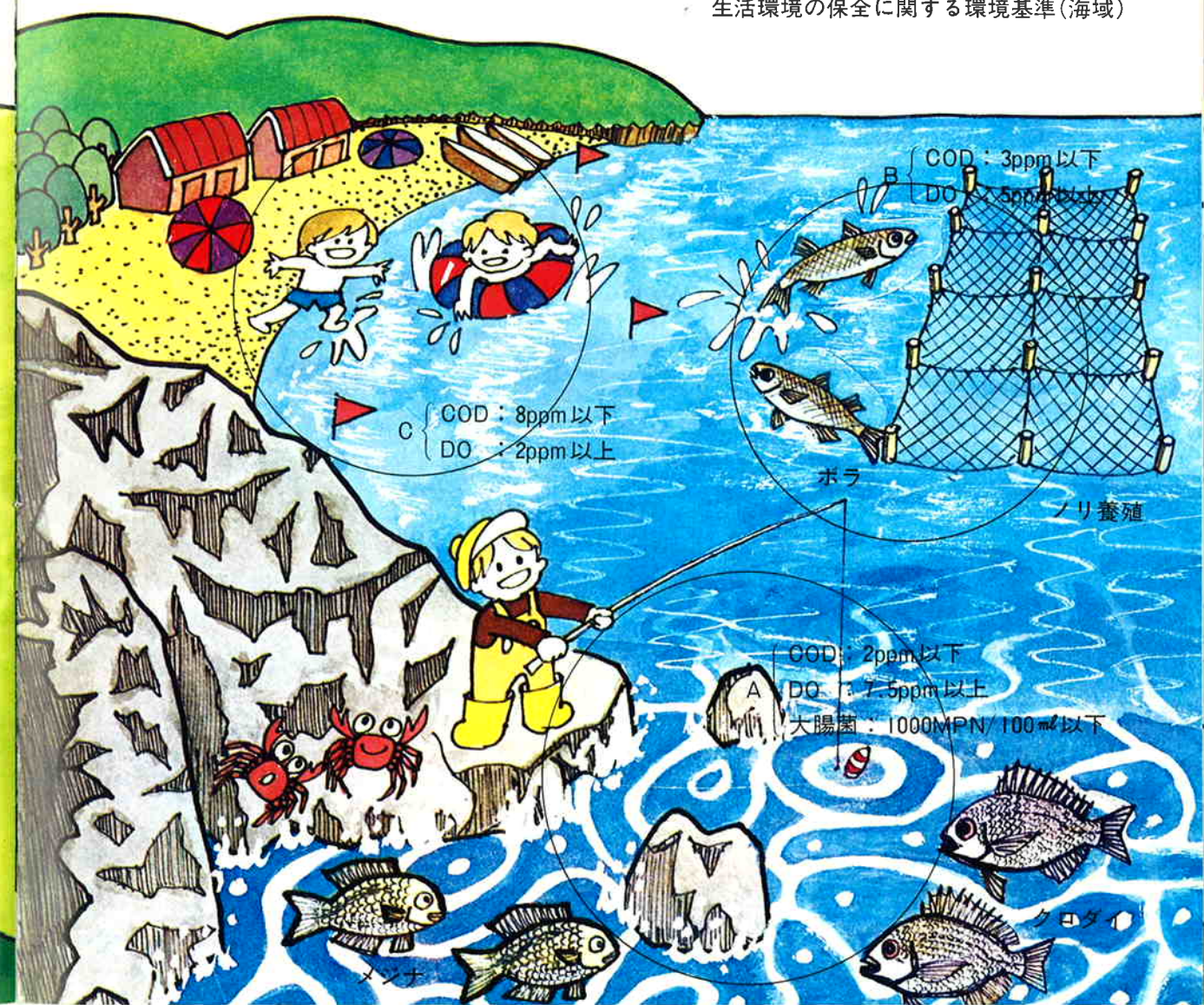
NやPを規制するためにはいくつかの問題があります。まず、その水域をどのような目的に利用するのかが問題となります。これは水産業に従事する人だけでなく、広く地域住民の声や国・地方自治体の政策を含めて検討しなければなりません、200カイリ時代の中にあって沿岸漁業の重要性がいっそう高まっている現在、可能なかぎり、すべての水域において、水産資源の保護・培養が図られるような水質環境の達成維持をめざしたいものです。

次に、好ましい環境とNやPの流入量の関係はど

うあるべきかが問題となりますが、これは最近の研究の進歩によってかなり解明されてきました。しかし、NやPの流入量を減らすための技術は現在のところ十分確立されておらず、相当のコスト高になるという経済的な問題があります。

しかし、富栄養化の影響が深刻化している現状を反映して、環境庁もまずPに係る環境基準の設定について検討を進めていますし、地方自治体においても環境改善のための努力が積み重ねられてきています。

生活環境の保全に関する環境基準(海域)





# ●富栄養化の防止対策

富栄養化問題を解決するためには、さまざまな努力が必要です。

## 国の技術開発試験

国では、すでに述べてきましたように、水質環境基準を設定するとともに、水質を規制する「水質汚濁防止法」や「瀬戸内海環境保全特別措置法」を制定するなどの措置を講じてきていますが、今後は、

NやPについても規制の対象とすることが必要となっています。

また、富栄養化防止のための技術開発試験についても積極的に取り組んでいますが、ここでは水産庁が検討を進めているいくつかのものについて述べてみましょう。

### ①底質の改善

有機物の蓄積した底泥は、酸素を消費して海水を

貧酸素状態にするとともに、NやPを海水中に溶かし出します。その改善のために(Ⅰ)底泥除去(しゅんせつ)(Ⅱ)底泥をきれいな砂等でおおう(覆土)(Ⅲ)海底に空気を送って酸素不足を解消する(ばっ気)(Ⅳ)海底をかくはんし分解を促進する(耕うん)などの試験を試みています。

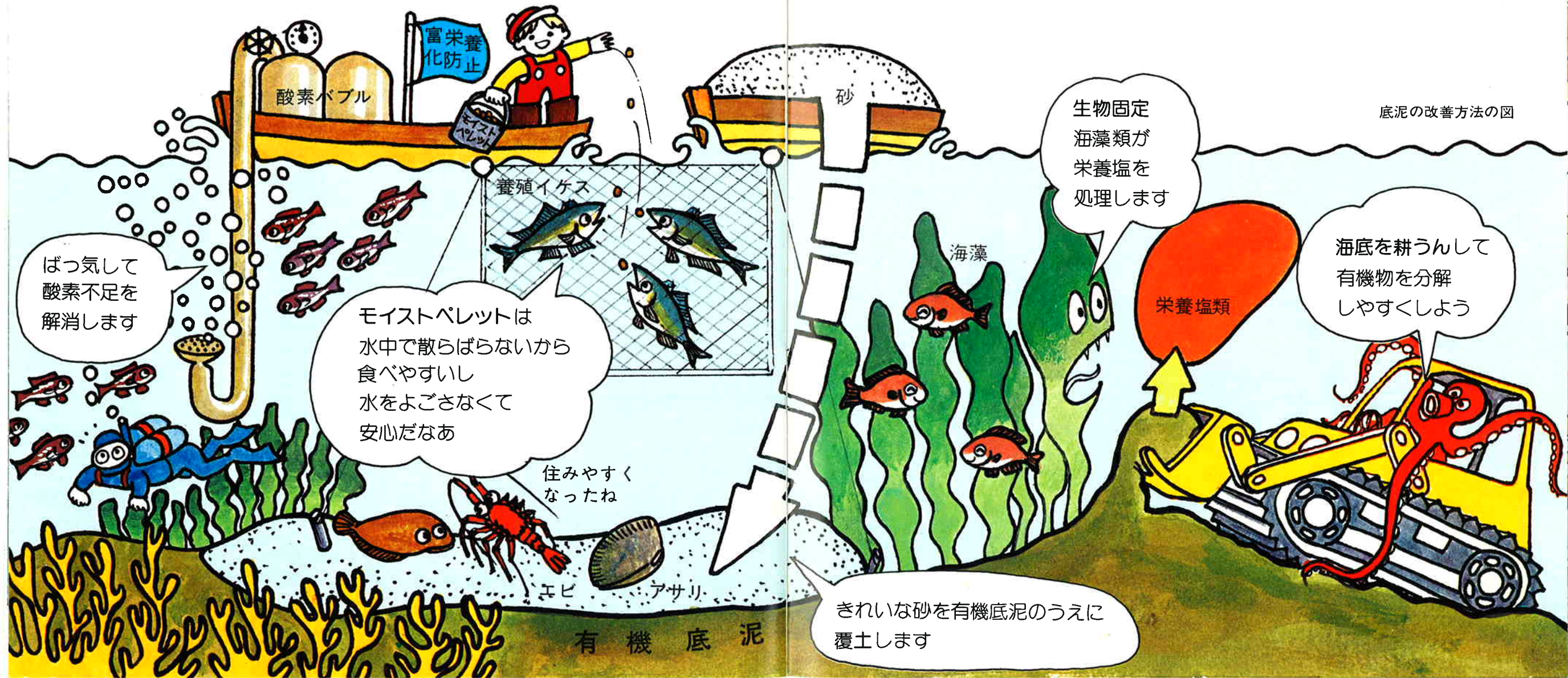
### ②生物を利用した防止対策(生物固定)

NやPを、人工的に培養した海藻や植物プランク

トンに吸収させて除去する方法や、大量に発生したアオコをレンギョやティラピアに食べさせて除去する方法などを研究しています。

### ③養殖漁場の汚染防止

ハマチやタイなどの養殖に用いる餌の食べ残しが漁場を汚すのを防ぐため、水中で散らばらない餌(モイストペレット)を利用した自家汚染防止技術の開発を進めています。



底泥の改善方法の図

ばっ気して酸素不足を解消します

モイストペレットは水中で散らばらないから食べやすいし水をよごさなくて安心だなあ

住みやすくなったね

エビ アサリ

有機底泥

生物固定  
海藻類が  
栄養塩を  
処理します

海底を耕うんして  
有機物を分解  
しやすくしよう

栄養塩類

きれいな砂を有機底泥のうえに覆土します





## みなさんへの要望

海や湖の富栄養化を防止するためには、国や地方自治体の行政措置のみでは十分でなく、地域住民の理解と協力が不可欠であり、みなさん一人ひとりに次のような自覚と努力が求められています。

### ①工場排水

工場ではむだのない排水、NやPを除くための排水処理施設をつくる、窒素やリン肥料その他に再利用するなどできるだけ排水を少なく、そしてきれいに流しましょう。

### ②農畜産排水

肥料はやりすぎないように有効利用を考えましょう。家畜糞尿は有効な肥料です。なるべく、たい肥にして土にもどしましょう。

### ③家庭排水

合成洗剤中のPは、湖や海に流入するPのおよそ20%も占めています。できるだけPを含む洗剤を使用しないようにするとか、使う場合でも上手に洗濯

して無駄に洗剤を使わないようにしましょう。下水道の完備していないところでは、台所排水と、し尿排水については浄化槽をとりつけるようにしましょう。

### ④魚貝類の養殖による自家汚染

魚貝類養殖は密殖をさけ、また餌をやりすぎないようにしましょう。

## 将来の方向について

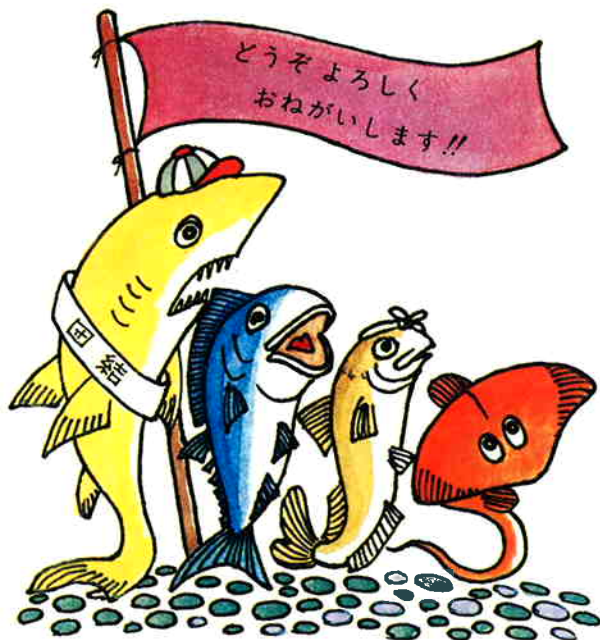
湖や海に流入するNやPの量を削減するためには、今まで述べてきたような国・地方自治体の施策や企業、国民の努力とあわせて、今後次のような基本的方法を検討推進していくことが必要です。

### ①三次処理でNやPを除去する

下水道に入った各種の排水は、下水処理場で普通二次処理までされた後、河川を通じて湖や海に流入します。この処理では、排水中の有機物が無機物に分解され、見かけ上水がきれいになることが大きな特徴ですが、Nでは約20%、Pは約10%しか除去されず残りは流出してしまいます。このため現在、NやPをほとんど完全に除去する三次処理の技術開発が進められています。この処理はすでに一部で実施されていますが、現在のところ広大な施設が必要であるとか、経費がかさみすぎるなどの難点があり、今後の研究の一層の進展が期待されています。

### ②省資源と再利用でNやPの排出を減らす

資源をできるだけ有効に使うことが、富栄養化防止に大いに役立ちます。昔は、し尿は肥料として利用されていましたが、今は湖や海に下水道などを通じて流出しています。とくに、Pは日本では外国から輸入(一年間で約44万トン)し、このうち消費されて海に流出する量は約15万トン(洗剤として約3万トン)と計算されています。もし、洗剤のPを半減させ、Pの再利用を1.5倍にすると、海に排出されるPは約9万トンとなり、現在の排出量の60%にまで減少することになります。今後は資源の有効利用、リサイクルを積極的に進めていく必要があります。



皆で力を合わせて排水の仕方を工夫し川や海をよごさないようにしましょう

私たちの糞尿も肥料として有効利用してください

肥料は多くやりすぎないように気をつけよう

工場には排水処理施設が必要です

洗剤も使いすぎないように気をつけましょう

研究所では、有機物を分解するだけでなく排水からNやPをとりのぞく三次処理の研究もすすめられています

水がきれいになると住みやすいね



## 美しく豊かな 湖・海をとりもどし、 子孫に伝えよう！

富栄養化問題は、ゴミ問題と同様に私たちが産業活動を進め、家庭生活を営むなかでたえず生じてくる問題です。私たちの生活や活動に伴う排出物が、かけがえのない河川や湖沼や豊かな海を汚し、また美しい景観をそこねています。

しかし、最近になってこれでよいのかという反省が生まれ、対策が少しずつ考えられるようになってきました。国民の食糧問題としても、200カイリ時代をむかえて沿岸漁場の重要性はいつそう高まってきているなかで、富栄養化の防止が水産業の振興上非常に重要な課題となっています。

東京湾は昭和30年ごろまでは、多くの魚が棲む青く美しい海でした。その後急速に汚れて一時は死の海のようになりましたが、最近少しずつ回復のきざしがみられるようになってきています。

もし、昭和30年ごろの東京湾をとりもどそうとするならば、NやPの流入量を現在の約半分にしなければなりません。

美しく豊かな湖や海をとりもどすためには、国民一人ひとりが、また企業が、それぞれに富栄養化という問題を理解し、強い自覚をもって積極的に努力することが必要です。

一日も早く美しい湖や海をとりもどし子孫に伝えようではありませんか！

きれいな海に、豊かな魚を。