

第1章 水質指標とは

1-1 水質汚濁の種類と代表的指標

1-1-1 水質汚濁の種類

自然は水質に限らず環境の質を一定の水準に保つ能力（自浄能力）を備えており、自浄能力の範囲内であれば汚濁物が入ってきても環境が悪化することはありません。この自然の収容力を環境容量といいます。

明治以降の急激な産業の発展と人口の増加は、人間活動から排出される汚濁物の量を著しく増大させ、また化学工業の進展は、自然の力では浄化され得ないさまざまな難分解性物質を生み出してきました。それらはしばしば環境容量のわくをこえ、イタイイタイ病や水俣病に代表される工業排水による水質公害、未処理生活排水の大量流入による“どぶ川”化、湖沼などにおける赤潮等の発生に代表される富栄養化、さらには農薬、ダイオキシン、環境ホルモン（内分泌攪乱性物質）などの微量化学物質による汚染など、さまざまな水質問題を引き起こしてきました。

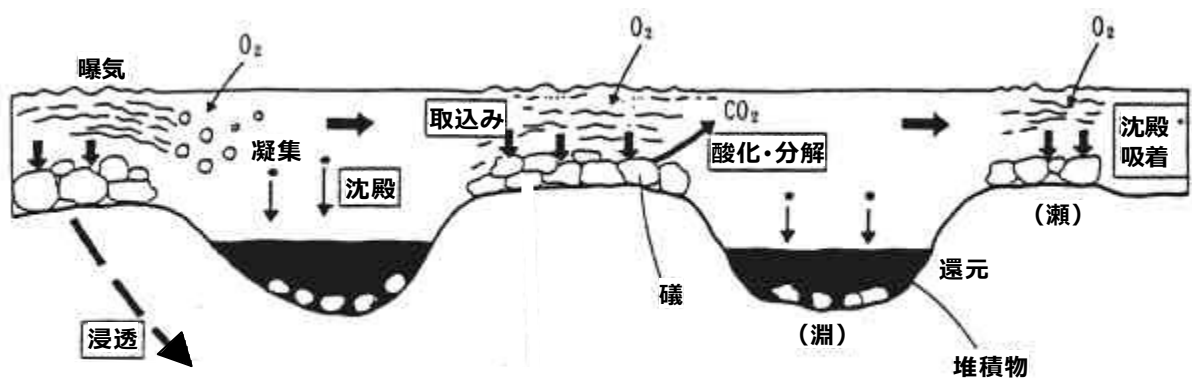
このような水質汚濁の分け方にはいくつかあり、水域別では河川汚濁、湖沼汚濁、海域汚濁、地下水汚濁にわけられます。また、その原因別では自然汚濁と人為汚濁に大別され、人為汚濁は汚濁源によって生活排水、工業排水、鉱山排水、農業排水、畜産排水等による汚濁に分けられます。

そして現象ないしは汚濁物質の種類によって分類すると、有害物質汚染、有機汚濁、富栄養化現象、濁水、油汚染、冷・温排水汚染、酸性水などに分けられます。

川の自浄作用とは？

川は自然の浄化作用（自浄作用）を有しています。

- 1) 物理的作用：流入した汚濁物は先ず大量の水によって希釈（うすめる）・拡散（拡げる）され、また水より重たい粒子は次第に沈殿して、水中の汚濁物濃度は減少します。しかし、これらの作用では汚濁物の総量が減少したわけではなく、本質的に浄化されたことにはなりません。
- 2) 化学的作用：酸化、還元、凝集、吸着などの作用によって、汚濁物質が無害なものに変化したり、沈殿しやすくなったり、水中に溶出しにくくなったりします。
- 3) 生物的作用：汚濁物質が生物により吸収され、分解されることをいいます。有機物が微生物（水中のバクテリア等）によって分解されることが中心ですが、窒素やリンが藻類や水棲植物によって吸収されることも自浄作用の一種といえます。



化学的な浄化作用とは？

酸化

イオンとは、物質を作る原子（有機物を構成する炭素：C）が+や-の電気を帯びた状態のことを言います。

そこで酸化を詳しく説明すると、電気の状態が「-」の状態から「ゼロ」や「+」の方向に変化することを「酸化」と言います。酸化することで、物質は別の物質に変化します。

炭素：Cは、「-」の電気を2つ持っていますが、酸素から「+」の電気を貰って、電氣的に「ゼロ」の状態になります（このとき、酸素とくっついていきます）。また、水素と酸素がくっついて水ができるときも同じことです。水素：Hは「-」の電気を1つ持っていますが、酸素から「+」の電気を貰って、電氣的に「ゼロ」の状態になります。このように炭素や水素は酸素から「+」の電気を貰って酸化され、二酸化炭素や水といった別の物質に変化するわけです。

水の酸化による浄化とは、水中の有機物に含まれる炭素（C）、水素（H）原子が別の酸素原子（O）と結びついて新たに二酸化炭素（CO₂）、水（H₂O）に変化することで、これにより汚れ（有機物）が分解（酸化）されるということです。

還元

酸化とは反対で、物質が「-」の電気を一つでも多く持つようになることを還元と言います。

水の還元による浄化とは、水中の有機物に含まれる炭素（C）、水素（H）、窒素（N）、イオウ（S）、酸素（O）などの各原子のうち、酸素がはなれて、新たにメタン（CH₄）、硫化水素（H₂S）、アンモニア（NH₃）に変化することで、これにより汚れ（有機物）が分解（還元）されるということです。

吸着・凝集

凝集とは、微粒子がお互いの引力により集まってくっつき、大きな塊となることです。同じ電気を帯びた原子（イオン）はお互いに離れようとし、酸化・還元反応により電氣的にゼロになった物質はお互いに結びつきやすくなります（吸着）。物質同士が吸着してさらに大きな塊となり（凝集）、沈殿しやすくなります。

(1) 有害物質汚染と代表的水質指標

有害物質はそれ自身が環境や人体に重大な被害をもたらすものであり、シアんに代表される急性毒性が問題になるものと、有機水銀、カドミウムなどの重金属類や、トリクロロエチレンなどの有機塩素系化合物のように、食物連鎖を通じて人体に蓄積されて被害を引き起こしたり、長期間にわたって環境を汚染するものに分けられます。

有害物質による健康被害は、古くは明治10年から問題化した栃木県渡良瀬川の足尾銅山鉍毒事件、大正11年の富山県神通川のイタイイタイ病、昭和31年に社会問題化した熊本県水俣湾を中心とする水俣病、昭和38年の新潟県阿賀野川での第二水俣病があります。これらは、我が国の公害防止行政を大きく進展させ、昭和45年には「水質汚濁防止法」が制定され、昭和46年の排水基準、環境基準が告示されました。

有害物質に係る水質指標は、環境基準の「人の健康の保護に関する環境基準」（26項目：河川）が代表的なものです。（これら環境基準項目（健康項目）については、1-2-1（1-18ページ参照）で詳述します。）

有害物質とは、有機汚濁物質のように自然に分解されて無害化されることはありません。また、ひとたび体内に入ると蓄積され続けるため、体内に蓄えられる有害物質量は増え続けます。このため、濃度が小さい場合でも、体内に蓄積され、将来に健康被害などが発生する恐れがあります。ですから、環境中に排出しないことが最善となることから、これら有害物質に係る環境基準も大変厳しいものが設けられています。

有害物質による汚染源としては、化学工業や金属工業の排水中に含まれるさまざまな化合物や重金属類、鉍山排水中の重金属類やシアンの、農業排水中の農薬などが挙げられます。

(2) 有機汚濁と代表的水質指標

有機汚濁とは、水中の有機物質が増大することによる水質汚濁ですが、その問題は水中の有機物そのものよりも、有機物を分解する際に溶存酸素が消費されることによって生じる生物生息環境への影響および悪臭、着色などの生活環境への影響です。このため、有機汚濁の指標としてはDOに加えて、BOD、CODなどの酸素消費量が用いられます。

生活雑排水・し尿に代表される有機物による汚濁は水質汚濁の最も基本的なものです。水中や底質中に入った有機物は微生物により分解される際に水中の溶存酸素を消費します。有機汚濁とは、有機物の量が自然の浄化能力を超えた場合に水中の酸素が欠乏し、魚類をはじめ水生生物の生息が困難となり、アンモニアや硫化水素による悪臭が発生（嫌気性分解）するなどいわゆる、どぶ川・の状態に至ることです。

【有機物】

有機物（＝有機化合物）とは、炭素と酸素だけからなるもの（一酸化炭素や二酸化炭素など）など少数の構造が単純な物を除いた炭素を含む化合物の総称です。もともと、有機体（＝生物体）を構成する化合物および有機体によって生産される化合物という意味で名付けられたものでしたが、現在では化学的に合成された有機化合物が無数にあります。普通、有機汚濁という場合は、もともとの意味に近い生物によって代謝されやすく特に毒性のない有機物を対象とします。

【代表的水質指標】

◎DO：溶存酸素量

水に溶解している酸素の量。酸素の溶解度は水温、気圧、塩分濃度により変化するため、例えば同じ清澄な水でも、夏と冬で水温の違う水では溶存酸素濃度は異なります。

◎BOD：生物学的酸素要求量

水中の比較的分解されやすい有機物が、好気性微生物により酸化分解される時に消費される酸素の量で、通常20℃で5日間、暗所で静置した時の消費量を指します。河川における有機汚濁の指標に用いられます。

◎COD：化学的酸素要求量

水中の有機物を酸化剤で化学的に酸化する際に消費される酸化剤の量を酸素量に換算したもの。湖沼・海域などの停滞性水域や藻類の繁殖する水域の有機汚濁の指標に用いられます。

有機物の好気性分解と嫌気性分解とは？

有機物の分解にかかわる微生物は好気性微生物と嫌気性微生物に大別されます。

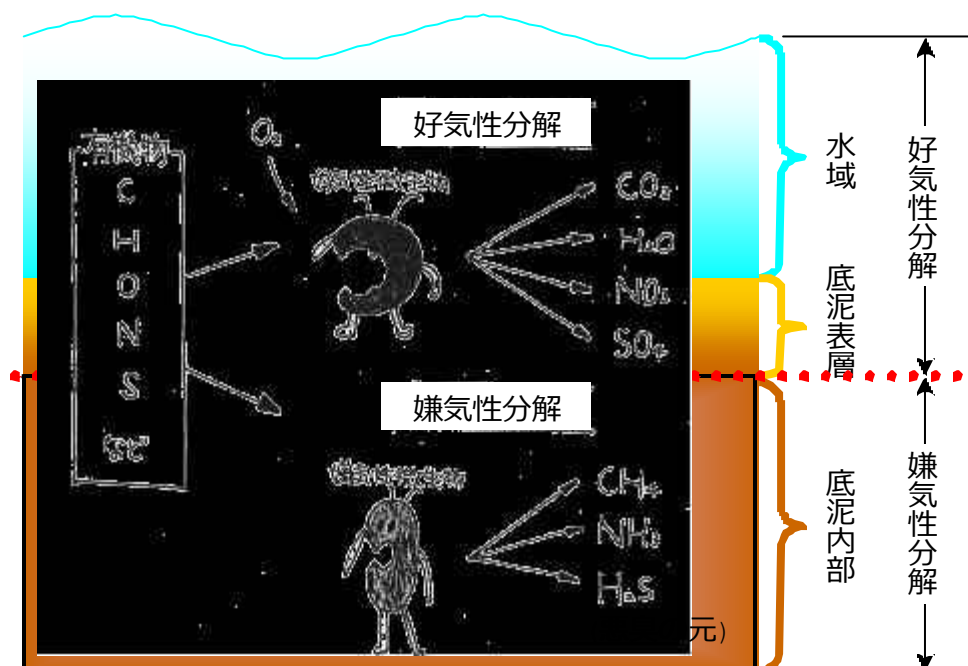
好気性微生物とは、酸素ガス（ O_2 ）の存在する環境（好氣的環境）で生育します。嫌気性微生物は、酸素ガスの存在しない環境（嫌氣的環境）で生育します。

好気性分解

自然水は、空気中の酸素によってほとんど溶存酸素が飽和しているのが普通ですから、水中に入ってきた有機物はまず好気性微生物によって酸化分解されます（好気性分解）。有機物の主成分は炭素（C）、水素（H）、酸素（O）、と窒素（N）、硫黄（S）などで、好気性微生物は水中の酸素を使ってそれらを二酸化炭素（ CO_2 ）、水（ H_2O ）、硝酸イオン（ NO_3^- ）、硫酸イオン（ SO_4^{2-} ）などの無機物に分解します。

嫌気性分解

酸素ガスの存在しない環境では、有機物は嫌気性微生物による分解が行われます（嫌気性分解）。この場合の最終生成物はメタン（ CH_4 ）、アンモニア（ NH_3 ）、硫化水素（ H_2S ）などです。また、堆積した底泥の内部では、溶存酸素の補給が少ないために、嫌気性分解が主体になります。嫌気性分解も、自然の浄化作用の中で重要な役割を果たすものですが、人間にとっては好ましい環境とは言えません。

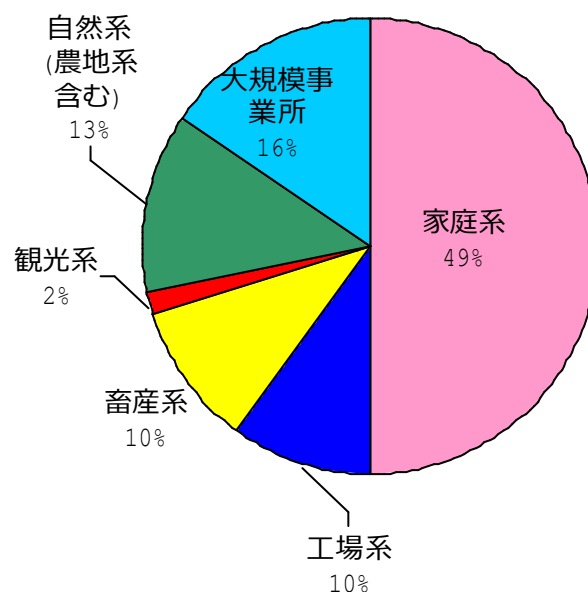


川に流れ込む主な有機物

川に流れ込む有機物はさまざまなものがありますが、生活排水やし尿などの家庭系排水の他にも、畜産排水や工業排水、中でも食品工業や紙パルプ工業などの排水は有機汚濁の原因になりやすいものです。吉野川流域全体の有機物（BOD）の排出量は、家庭系が約半分を占めています。

《解 説》

- ◇有機物の発生源には、事業所や工場などもありますが、これらの施設には排水処理施設が設置されることで川に流れ込む有機物が削減されています。
- ◇現状では、下水道等の污水处理インフラ未整備地区からの家庭排水が問題になるケースが多くなっています。
- ◇下の図は、吉野川流域のBOD排出負荷量を発生源別に整理したものです。排出負荷量は、家庭系はし尿処理形態別人口（下水道、汲み取り、浄化槽、自家処理など）に負荷量原単位（g／人／日）を、工業系は産業中分類別に出荷額に負荷量原単位（g／百万円／日）を、自然系は土地面積に負荷量原単位（g／ha／日）を乗じるなどして、算出したものです。（昭和60年現況）



吉野川流域で排出されるBOD負荷量の発生源別割合

【出典】徳島工事事務所

(3) 富栄養化と代表的水質指標

富栄養化とは、肥沃な土壌や人間活動から大量に排出された栄養塩類（植物の栄養となる物質）が水中で増加することですが、富栄養化による問題はこれにより生態系のバランスが崩れた状態を指しています。

富栄養化の程度を表現する代表的指標としては、原因指標としては窒素・リン、現象指標としてはクロロフィル a があります。

【富栄養化】

湖沼や内湾などの停滞性水域に大量の栄養分（窒素・リン等）が流入すると、富栄養の状態となり、水域内部での一次生産量（植物プランクトン）が増加して二次生産者（動物プランクトンなど）による補食が追いつかないために生態系のバランスが崩れます。富栄養化による障害は植物プランクトンの異常発生による濁り、浄水場のろ過障害、清水性魚介類の生息障害などがあり、富栄養化による極端な例が赤潮やアオコ現象です。

【代表的水質指標】

◎ T-N：総窒素、 T-P：総リン

富栄養化の代表的な原因物質。植物プランクトンを含め植物の3大栄養素である窒素、リン、カリウムのうち、カリウムは比較的天然に多く存在するため、窒素とリンが富栄養化の原因となります。総窒素、総リンは、ともに有機態と無機態に大別され、このうち植物プランクトンが摂取できるのは無機態だけです。

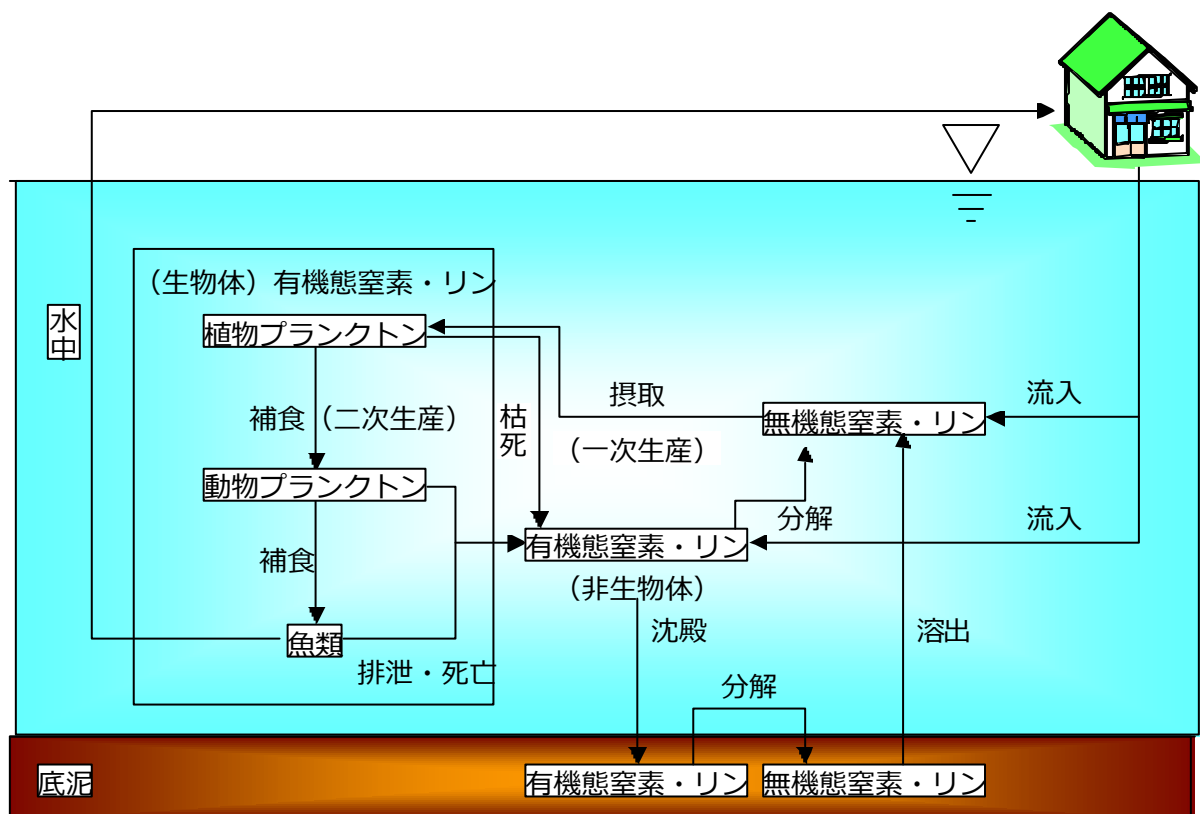
◎ クロロフィル a

クロロフィル（葉緑素）aは光合成細菌を除く全ての緑色植物に含まれるため、水中の植物プランクトン量の指標として用いられます。

窒素・リンの水域での物質循環

水中に流入した窒素・リンは、分解・摂取・捕食・枯死・沈殿等のさまざまな反応の中で、有機態・無機態と形態を変えながら循環を繰り返して存在し、有機物と異なり浄化が困難な物質です。

- ①陸域から水中に流入する窒素・リンは有機態（有機物）及び無機態として流入します。
- ②このうち、有機物に含まれる窒素・リンは水中の微生物により分解されて、無機態に変化します。無機態窒素の代表がアンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)、亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$)、硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) であり、無機態リンの代表がリン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$) です。この段階で有機物総量は減少しますが、窒素・リンは減少しません。
- ③これら無機態の窒素・リンは植物プランクトンに摂取（一次生産）され、プランクトン体内で（生物体）有機物に変化します。
- ④植物プランクトン体内に取り込まれた窒素・リンの一部は、動物プランクトン等の二次生産者に捕食され、同じ有機態として場所を変えて存在します。これはやがて、食物連鎖の中で、魚類、鳥獣・人間等の高次生産者にとりこまれていきます。
- ⑤一方、植物プランクトンの一部は枯死して、（非生物体）有機物に回帰し、陸域からの流入有機物と同様に再び分解されて無機態に変化し、その後同様の物質循環を繰り返します。
- ⑥また、これら（非生物体）有機物の一部は底泥に沈殿し、やがて底泥中の微生物により分解され無機態となり、水中に溶解しやすくなります。この溶解性無機態は、溶出という形で河川水や湖水に再回帰していきます。
- ⑦富栄養化に伴い一次生産量（植物プランクトン）が異常に増大すると、二次生産者による捕食が追いつかず、枯死という形で水中の分解しやすい有機物を増大させる事になり、これが有機汚濁と同様な現象をも発生させます。



水域内部での窒素・リンの循環

1 - 1 - 2 河川で問題となる主な水質現象

(1) 水の華現象

湖沼、ダム湖などで生じる植物プランクトンの異常発生現象(淡水赤潮やアオコ)を水の華現象とよびます。

【淡水赤潮】

淡水域において外観が褐色ないしは黄色味を帯びて表層水中に集積するものは淡水赤潮と呼びます。各地のダム湖で発生している淡水赤潮は渦鞭毛藻類うずべんもうそうるいのペリディニウム属によるものが多く、琵琶湖で発生する鞭毛藻類べんもうそうるいのウログレナアメリカーナは生ぐさい臭気を発生します。

〔他流域の事例〕



【アオコ】

アオコは、濃い緑色を呈するプランクトンの異常発生現象を指して言います。アオコの原因生物は藍藻類らんそうるいのミクロキスティス、アナベナあるいはオシラトリアです。ミクロキスティス属の中には、強い毒性を有するものがあり、アナベナやオシラトリアはかび臭の原因となる物質を有しています。

〔他流域の事例〕



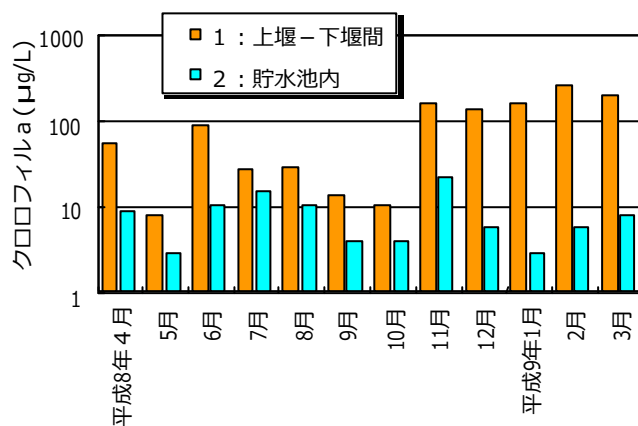
吉野川での事例（水の華現象）

吉野川では、第十堰上堰下堰間のよどみ部でときおり水の華が見られます。

吉野川下流部では、第十堰上堰下堰間のよどみ部で、ときおり植物プランクトンの異常発生現象がみられます。平成9年2月には、クロロフィルa濃度が $258\mu\text{g/L}$ に達したこともあり、水の色が赤みがかりました。

プランクトンの種類を今まで調査してきた結果、珪藻類^{けいそうい}が主原因で、渦鞭毛藻類^{うずべんもうそうい}が原因の淡水赤潮ではないことが判明しています。また、アオコの原因となるミクロキスティス、アナベナは僅かな個体数しか確認されておらず、アオコの発生自体も確認されていません。

第十堰上堰下堰間での植物プランクトンの異常発生現象は汚濁支川神宮入江川からの大量の栄養塩（窒素・リンなど）の流入が原因と考えられています。



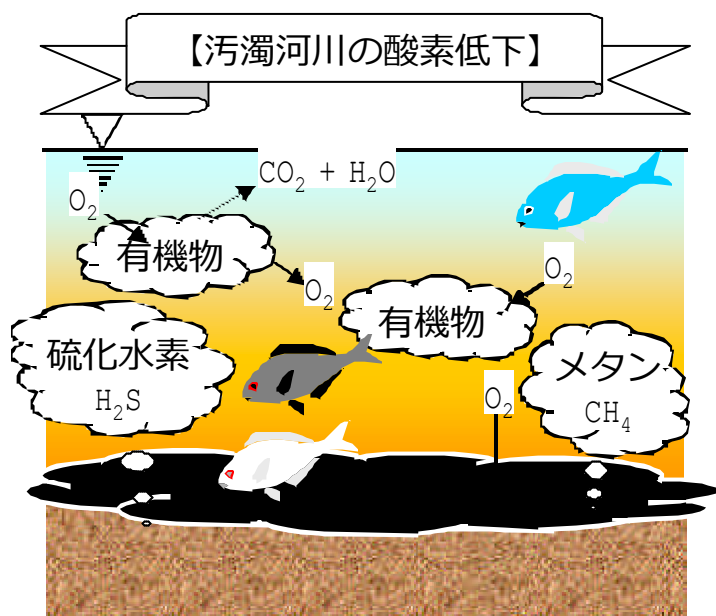
(出典：徳島工事事務所測定)

(2) 貧酸素現象

種々の要因によって河川水に溶けている酸素量が減少すると、河川の自浄機能の低下、生物生息障害、異臭発生などの原因になります。

河川水中や底質中に有機物が大量に存在すると、有機物の分解などに大量の酸素が消費され、溶存酸素量が低下します。

河川水中の溶存酸素が低下すると、河川の自浄作用（酸化分解）の低下、魚介類の生息生育障害（ $\text{DO} < 3 \text{ mg/L}$ ）、底泥内の嫌気分解によるアンモニアや硫化水素（異臭）の発生などの問題が発生します。



生活環境に関する水質指標

BODとCOD

主な有機汚濁の指標として、環境基準では河川についてBOD（生物化学的酸素要求量）、湖沼および海域についてCOD（化学的酸素要求量）で設定されています。河川は、流下時間が短いため流下する間に微生物によって酸化分解されやすい有機物の量を問題にします。このため河川の有機汚濁指標は河川水を常温（20℃）で5日間静置して、その間の好気性微生物による酸素消費量を測定するBODが用いられます。一方、海域や湖沼は河川に比べて滞留時間が長いため、光合成によって新たな有機物を生産し、溶存酸素の消費（呼吸）と生成（光合成）の両方を行う植物プランクトンが大量に繁殖しています。このことから、海域や湖沼ではBODのような酸素消費量の測定方法では水域の有機物量の実態を正確に反映できません。このため、海域や湖沼の有機汚濁指標としては、その水を沸騰（100℃）させて30分間酸化剤によって化学的に酸化させた場合の酸素消費量を測定するCODが用いられます。

pH（水素イオン濃度）

水が酸性であるかアルカリ性であるかを示します。pHが7以上であればアルカリ性、7以下であれば酸性であることを示します。アオコや赤潮の状態になると、水はアルカリ性が強くなります。また光が余りとどかず、植物プランクトンが生活しづらい湖の下層では、微生物が活発に分解活動を行うと水は酸性になりpHが低くなってきます。

DO（溶存酸素）

水の中に溶けている酸素の量をいいます。1リットルの水の中には、およそ8.8mg（真水、水温20℃の場合）の酸素が溶けています。水の汚濁が進んでくると微生物の分解活動が活発になり、水中の酸素量はしだいに減ってきます。

一方、湖の表層付近ではアオコや赤潮が発生すると、プランクトンが吐き出す酸素で水の中の酸素は増え、過飽和状態（1リットルの水の中に8.8mg以上の酸素が含まれる状態）になります。

SS（浮遊物質）

水の中に浮遊している直径2mm以下の、懸濁性物質（水の濁りの元になる物質）の量ことを言います。粘土などの鉱物性の微粒子や、湖や海ではさらに、動物プランクトンや植物プランクトンなどの生物性微粒子からなっています。

大腸菌群数

大腸菌は、主に人や動物の腸の中に生息しています。大腸菌に汚染されている程度を表す指標は大腸菌群数といい、水100ml中に存在する群数で表します。大腸菌群が多く検出されるほど、その水は人や動物のし尿によって汚染されている可能性があると考えられます。

ただし、現在の大腸菌群数の測定方法では、し尿由来以外の土壌細菌も計測されるため、人為汚染の考えられない水域でも、しばしば多量の大腸菌群数が測定されることがあります。このため、これにかわる指標として糞便性大腸菌が用いられるようになってきました。（水浴場の判定基準）