

**(財)琵琶湖・淀川水質保全機構**

**平成19年度 琵琶湖・淀川水質浄化研究所**



# **技術研究発表会**

**講演要旨集(開会挨拶・基調講演)**

平成19年11月

主催

国土交通省近畿地方整備局  
滋賀県  
独立行政法人水資源機構関西支社  
(財)琵琶湖・淀川水質保全機構

## はじめに

琵琶湖・淀川流域に暮らす私たちは美しい自然と豊かな水に恵まれており、こうした貴重な財産を健全な形で次世代に継承することが求められています。今、私たちは流域の水環境を改善するために、住民、企業、研究機関や行政など多様な主体が連携し、一体となって水質保全に取り組まねばなりません。

琵琶湖・淀川水質浄化研究所では、自然の浄化機能を活かした水質改善など新たな水処理技術の研究・開発の場として、Biyoセンター（琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター）を中心に幅広く活動を行ってきました。こうした研究成果や琵琶湖・淀川流域が抱える水環境問題を多くの皆さんと共有するために、琵琶湖を間近に望む会場で技術研究発表会を開催し、ここにその講演内容を取りまとめました。

本誌を通じ、琵琶湖・淀川流域の水環境の課題等について、広くご理解をいただき、皆様の今後の活動の一助になれば幸いです。

2007年11月

財団法人 琵琶湖・淀川水質保全機構

1. 開催概要 .....	1
2. 開会挨拶 .....	2
3. 発表会の開催にあたって .....	4
4. 基調講演 .....	12

## 開催概要

■名称:平成19年度 琵琶湖・淀川水質浄化研究所 技術研究発表会

■開催日時:平成19年11月13日(火) 13:00~17:10

■場所:コラボしが21 大会議室

■主催:国土交通省近畿地方整備局、滋賀県、独立行政法人水資源機構関西支社、  
(財)琵琶湖・淀川水質保全機構

### ■プログラム:

#### ◇開会挨拶

主催者代表挨拶

谷本 光司 (国土交通省近畿地方整備局 河川部長)

発表会の開催にあたって

宗宮 功 ((財)琵琶湖・淀川水質保全機構 琵琶湖・淀川水質浄化研究所所長)  
(龍谷大学教授、京都大学名誉教授)

#### ◇基調講演

「琵琶湖のBOD、CODの乖離問題に関する一考察」

岸本 直之 (龍谷大学理工学部環境ソリューション工学科 准教授)

#### ◇研究発表

##### 1. 侵略的外来魚駆除技術実験

國松 史裕 (国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所 河川環境課)

##### 2. 平湖・柳平湖導水実験

野田 英男 (滋賀県南部振興局建設管理部 河川砂防課)

##### 3. 琵琶湖開発総合管理におけるヨシ植栽に関する取り組み

中園 孝介 (独立行政法人水資源機構 琵琶湖開発総合管理所 環境課)

##### 4. 園芸植物およびリサイクルろ過材を利用した資源循環型水質浄化実証実験

阪倉 裕紀 (関西電力(株) 研究開発室 電力技術研究所 環境技術研究センター)

##### 5. 土壌浸透による水質浄化実験

和田 桂子 ((財)琵琶湖・淀川水質保全機構 調査研究部)

##### 6. 浅池における水質浄化特性実験

和田 浩幸 ((財)琵琶湖・淀川水質保全機構 調査研究部 前研究員)

##### 7. BYQ水環境情報データベースについて

川谷 逸樹 ((財)琵琶湖・淀川水質保全機構 技術開発部)

# 開 会 挨拶

国土交通省近畿地方整備局河川部長

谷本 光司氏



ご紹介いただきました近畿地方整備局河川部長の谷本でございます。本日はこの技術研究発表会に多数お集まりいただきまして大変ありがとうございます。主催者の一人として歓迎のご挨拶をさせていただきたいと思っております。

琵琶湖・淀川をもう一度考え直してみると、古くから日本の大きな川は関東の利根川や四国の吉野川、九州の筑後川などが有名で、これらは坂東太郎、筑紫二郎、四国三郎という異名がついている。しかし、長い間政治・経済・文化の中心であった近畿の淀川にはそういうあだ名がついていない。なぜかと考えたのですが、ある先輩は「子供には名前をつけても、淀川はそのお父さんだから名前をつける必要がない」と、そのようなことを教わったことがございます。

そしてこの琵琶湖は、その淀川のお母さん、母なる湖であります。長い間近畿が政治・経済、そして文化の中心として栄える繁栄の礎となり、貢献をしてきてくれた湖でございます。そして政治経済だけではなくて、この地域の風土と言いますか、ここに住む人達のライフスタイル、ひいては文化を形成するのに長い間貢献してきた、そういう湖だと思います。

だんだんと人間が暮らしやすいように世の中を変えてきているわけですが、その中で昭和47年から四半世紀をかけて琵琶湖総合開発という大変大きな事業が行われました。大きな治水効果、あるいは社会経済の発展への寄与ということは紛れもない事実でございますけれども、環境・文化といったことまで含めてトータルでどうだったかという評価は、まだまだこれから長い年月をかけて検証していくべき点が残されていると思っております。

平成4年に財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構が設立されました。これは琵琶湖総合開発事業が完了をするのに合わせる形で、そのあとの琵琶湖・淀川をどう守り育てていくかという議論の中から出てきた考え方であったと思

います。

若干余談でございますが、当時近畿地方整備局がご提案になったのは、琵琶湖水質保全機構という名前でございます。これで淀川水系の二府四県にも連携協力を呼びかけられました。当時私はたまたま三重県庁で河川課長をされており、琵琶湖しかなく淀川がないのは大変淋しい、しかも名前に琵琶湖しかついていないと三重県はちょっとお金を出しにくいということを申し上げましたら、琵琶湖・淀川水質保全機構という名前にしていただきました。二府四県が連携して琵琶湖・淀川の行く末を共に見つめ、共に育てようという動きがスタートしたわけでございます。

その中の一環としてこの研究所も後に発足するわけでございますが、近年の琵琶湖はとりわけ環境の問題で言いますと、水質が徐々によくなりつつある。しかし、ここしばらくは若干横ばい、あるいはBODとCODの乖離といった従来思いもしなかった新たな課題が出てきている。水質だけではなく水温の変化をとっても、ここ何年か少しずつ平均的に水温が上がってきている。これはひよっとすると地球温暖化の影響が出始めているのかなという気もいたします。

また生物をみましても、琵琶湖の固有種が数も少なくなってきたり一部には絶滅が危惧されるものもある一方、外来種が非常に増えている。そういった意味で、長い歴史の中でみれば一つのシーンなのかもしれませんが、よくよく見定めておかないと10年、20年、あるいは30年先にとんでもないことが起こるかもしれない。そういったことを今から深く洞察をして、将来の琵琶湖がより健全な姿であり続けられるように、そして我々の子孫に恵みの多い琵琶湖・淀川を受け継いでいただくことができるようにするというのが、今の我々の使命だと思っております。

そういった観点から、本日は盛りだくさんな研究テーマに基づいての発表がこのあとされる予定でございます。ど

うか発表される皆様方、また聴講される皆様方も熱心にお聴きいただき、また議論を深めていただくことで、将来の琵琶湖・淀川に一つでも多く貢献できる有意義な会となりますことを心から祈念致しまして、冒頭開会のご挨拶とさせていただきます。本日はどうもありがとうございました。



# 開 会 挨 拶

## 発表会の開催にあたって

(財)琵琶湖・淀川水質保全機構 琵琶湖・淀川水質浄化研究所所長  
龍谷大学理工学部環境ソリューション工学科教授・京都大学名誉教授  
**宗宮 功氏**



紹介に預かりました宗宮でございます。

環境問題というのは非常に幅広く、仕事にしようと思うと本当に大変なところがございます。今日言って明日、大金持ちになれるというものではございません。今般ご存じのように「環境問題はなゼウソがまかり通るのか」という本が出て大いに売れているということで、お読みになった方もいらっしゃると思います。リサイクルは間違いだとかダイオキシンは一切関係ないなど色々な話が載っております。確かにそうかなと思うところもありますが、現場を預かっている方々にとってはそうばかり言っておれないということがあり、環境というものをこれからどう取り扱っていったらいいのかというあたりが問題になってくると思います。

我々自身、この環境の時代において、一体どういった行動を取っていけば良いのかという話がいつも出てきますが、如何せん必ず出てくるのがこの省エネルギーと省資源です。これをどう達成するか、誰がどういうシステムで達成するかということがポイントになってきます。一つは今公害を防止し、住みよい社会を作るということで、この30年、40年、色々なことにお金が使われてきました。ところが1990年代、あらゆる効率から色々なものが公害から環境という字に変わりました。ところが環境へ変わったときに頭だけ変わって行動が変わっておらず、社会システムも公害のまま、環境システムもなっていないのです。

今年ゼロエミッションの社会を作りましようと言われていますが、ゼロエミッションなんてどうするんですか、皆さんの生活規範自身どんどん変えられますか。例えば、かつてオイル危機があった時のようにテレビも10時になったら放送止める。夜中の電気を全部止めるということをして日本中で本当に行動規範としてできますか。夜中の電気は

ある意味では平準発電のため、どうしても止めることができない発電所を動かしますが、過剰分はそれを蓄電池など、電気を溜めればよいわけです。あるいは、揚水発電などで大いに電力消費をやって、とにかく昼夜の総量としてのエネルギーを減らさないという時代に入り、皆さんどうしますか。

あとから申し上げますが、私としてはある意味では水道の出ない日、電気が来ない日、あるいはガスが来ない日を作って、もう1回皆さんに不便さというか自分で自分を守る行動規範を入れていただかないと、環境の時代には合いませんよ。お金で全部買えると思うのは大間違いということ。食糧危機とか農産物についても同じようなことが言われ出しています。

現実問題として我々自身がもう少し自分自身に、今度は自分の目でわかるようなことにしないと、環境の時代にはそぐわないということになっています。ここにあるような地球温暖化の話が次から次へ出てきて、地球温暖化って本当ですか、眉唾ものですよという話が今でも裏側であるように、炭酸ガスを減らすこと、これも1つの手段ですが、明らかに地球自身は寒冷期に向かって、寒くなる方向に向かっているのに、ある瞬間、ある数百年だけが温暖化していますよと言われても、本当ですかと地学者等が言うわけです。

人間の生活パターンは60年とか70年という間ですので、その間に経験したものに対して、我々は答えがいくらでも出せますが、その次の世代はどうなりますかというとなかなか答えが出せない。となると申し訳ないですが、行政の方々もやっけていらっしゃるような、今までの動きに接線を一先懸命引くことしかできなくなる。しかし、例えば公害対策でやってきた方針が環境という文字になったときに、

接線でつながらなくなりました。そここのところの頭の切り換えが本当にできますか。

この頃こういったバーチャルリアリティ、バーチャルウォーターとかが出てきています。農産物は金があるから買えばいいじゃないか、自給生産 39%でいいじゃないの。しかし、もし買った農産物を全て日本で作って水をやったとしたら、すごい水量になります。ある人が計算したら460億トンとか500億トンの水がいるという。概ね今我々が使っているのは農業用水を入れても900億トン/1年間です。水道で180億トンぐらいになる。水道で使う量の2倍半ぐらいの水がバーチャルウォーターとして農産物を作るのにいる筈だということです。こんなの本当に買えますか、いつまで買えますかという話が入ってくるのです。

これに加えて、本当にお金で全てが満足できる時代はいつまでかということ、我々自身が考えていかなければいけません。ここに書きましたようなNPO、NGOの活躍がどんどん進められること、あるいはフリーターが増えてきたとか、社会で生活する仕方がどんどん変わってきている。要するに社会の中に全部依存して、その中でうやうやと生活できるならいいじゃないか、ということが出てきている。

(ppt2)

これは水の管理の絵ですが、つまり上流で溜めて中流で使って下流に流す。そして水質保全是こうやり、水を管理するんだということになっています。本当にバージンウォーターを使うということになった場合、この淀川水系で成り立ちますか。琵琶湖に降った雨だけを全部パイプで大阪まで持って行って使えば良いではないかという話になるかもしれませんが、人間にとっては良いが自然にとっては本当にそれで良いのかということになる。その裏返しとして、今大阪の方々は、平均的に見れば10%か15%の下水の二次処理水を飲んでおられる。バーチャルウォーター、あるいはこういうバージンウォーターがなくなっています。バージンウォーターと思っていたもの自身が大気汚染その他で汚染された水になっています。どこが本当のフレッシュなウォーターですか、地下水って大丈夫だろうかといっても、地下水そのものが汚れています。

色々なことから、ここに書いてある水配分のシステムそのものをもう一度見直さなければいけないし、我々自身も今言われているリサイクルの中で、水のリサイクルとして

何をどこまでやって、どこでストックするのかという話と連合させていかなければならない。再生水とか再生工場という名前で下水処理場とか下水処理水の名前が変わっていったように、人間の意識の問題ですから、本当はどこにどう溜めてどう使うかまではっきりしてもらわなければいけません。

近年、いわゆる水事業の多様化が起こっている。工業用水、環境用水、我々はそれなりに飲める水や安全な水を作ってきましたが、工業用水にしる、例えばデパートや病院等の大きな施設は、水道を使わない方向へどんどん移っています。

地下水を使って膜処理を行えば安くできてしまうために、大規模の需要家からだんだんと水道を使用しないという状況となり、水道局の事業総水量が減ってしまってきている。おそらく、水道自身がなかなか成り立たなくなり、値上げをしなければならぬ。このような需要家ほど新しい技術を入れたら安くできるということを言ってしまう状況があると、我々自身、今までの社会にあったシステムそのものを変革させなければならぬという時代が来てしまうのです。

水源の管理は誰がどこで実施しているのか。表流水等については確かに河川で十分やられています、地下水まで含めて管理をしていますか。再利用という話になると、一回リチャージしてそこでもう一回使いましょうという話になると、どこが管理されていますか。それでいてその地域の水は豊富ですよということを言いますか。

大阪も人口密度が高くなり、小さな河川や田んぼなどの多くが埋め立てられて、水面がなくなった、それに相当するものを地下に溜められますか。東大阪等の地盤の低い場所の地下にまた水を溜めて、お使いになりますかということをもう一度考える必要がある。水資源や水のあり方、システムそのものをもう一度、我々は考え直せばまた違った環境の時代に、我々が環境を変えて使うという場、使えるような場を作るという意味では、新しい接線の生活域を作り出せるのではないかと。要するに水資源の賦存量の確保をどこでどうするか。他人任せではなく、ダムを造れば良いとか、何をすればいいというように単純ではない。自分の家の近くで水を溜めて下さい。あるいは今の生活区域の中で、自分で管理できるようなものをもっとあっても良いのではないかと。そうしないと安全性なり確実性が減ってしま

うだろうということです。(ppt3~4)

この水道料金のグラフを見ると、1 か月で 1 軒が 20m<sup>3</sup> ぐらい使うとして、1 軒あたり二千円とか二千数百円で頭打ちになっているという数字が出てきます。それに比べてペットボトルは、1 トン 10 万円とか 15 万円。どうして 500 倍から 1,000 倍も値段が違うのですか。大阪府がペットボトルを売りに出していますが、利便性にそれほど価値観があるとしたら、笑話ですが、水道局員の方半分以上が御用聞きして、病院であれ大きな施設においしい水を毎週持ってきますから 20L 入りのバケツを 1 つ千円で買って下さいと。なくなったら必ずその日に 1 時間以内に届けますから買って下さいといけば、多分給料は 2 倍ぐらいになるのではないかと。その代わり一般の水は 1 トン 10 円でも 15 円でも結構です、お使い下さいと言えば、十分です。一般に使う水の 5% も達しない、2%~5% の飲み水を 500 倍ぐらいの値段で売れたら、ものすごく有効に金が入るわけです。

このようなことを考えると、やはり我々が今まで良かれと思って作ってきた水の使い方なり、施設、装置そのものが環境の時代に合わないかもしれないということを、もう一度考え直す必要があるということです。

そういうと必ず、美味しい水をもう 1 本パイプを作って送ればいいと、そんな古い発想ではだめです。パイプを入れたら高くつくのは分かり切っている。もっと違った発想で、地域ごとに水を溜め、高度に処理し中級規模の水、植物にやる水、自動車洗う水とか、ちょっとした水草を生やす池とか、そんなのはすぐ近くで全部循環して使ってください。飲み水だけは別途に持ってきて安いのお配りしてもいいですよ。雑用水はどうぞこの水道水をお使い下さいと。飲む水と美味しい水と他方で普通に使う水を全部美味しい水にする必要があるかどうかということを、もう一度考えてみる必要がある。

今日、我々はりっぱな水道施設を作りました。塩素の入った水というのは貴重です。少々ペットボトルに水道水を入れても 1 カ月ぐらいは絶対に腐りません。浄水器を通した水をペットボトルに入れて 1 カ月置いておいて下さい、ひよっとすると光が当たったりして藻類が生えてきますよ。これは塩素を取り殺菌力がなくなっているからです。

このことを知った上で水を貯蔵し使っていく、使い分け

ていく。ぜひやってほしいという気がします。何もトイレの水を美味しい水で流す必要はないのです。それを使わざるを得ないシステムを我々が作ってきた。だけど本来ひよっとしたらそうではない、施設が家庭であれ、どこか水を循環して使用できるシステムとして作り上げられていたら、同じ水源でもバージンの新しい水を 2 回使えば半分、3 回なら 3 分の 1 までに使用量を落とせるわけですから、そうすれば自然の中に残せて、自然のほうに回せるわけです。(ppt5)

これはいわゆる東大で計算されたバージンウォーターです。安全な水というのは確かにこれからの価値観として大きな問題になっていく。そんな中には従来の疫学的な安全性、つまり大腸菌とかその他の病原性細菌に対する安全性は、従来から言われています。ところが過度の塩素処理は、言ってみれば塩素処理に対する信頼といえますか過信ともなっていて、1990 年代から抗塩素性の細菌や原生動物等が出てきました。このため塩素だけではだめで、他の代替の消毒剤が使われるようになってきました。紫外線やオゾン、あるいは膜処理技術自身も実はこの消毒の一端の原生動物を取るという意味で、膜処理がどんどん入ってくるわけです。それは一つの技術開発であり方向性、処置の仕方、安全性を高める方法の道具ではあります。

もう一つは難分解性の有機物です。有機塩素化合物、環境ホルモン等々ありますが、現実には環境ホルモンはこの 5 年間消えてしまいました。というのは、哺乳動物に対する影響度合いというのがわからないので、三代、四世代経った時点でもう一回評価し直しましょうということがベースになった結果、今は様子を見ましょうということになってきた。しかし、女性ホルモンが有史以来大変な量が自然界に出ていたはずで、それに加え人工的に作った内分泌攪乱物質がどのくらいの意味を持つかという事を、きちっと評価できるようにしなければならぬが、評価に時間がかかる。世代を超えた DNA の損傷などが出て来ないかというのがわからないということで世間の話題から消えていったのです。

同じようにダイオキシン問題も、ある先生によればこんなのは毒性が低いですよ。ある種の新聞が騒ぎ立てて市場を作りたい人が騒いだのではないかと書いてある本まで出てきている。実際問題としては、例えば有

機塩素化合物のように明らかに影響力があるようなものは注意しておかないといけない。

なぜかという我々の理解では、塩素は今から二百数十年前に人間が作り上げたものです。その前には有機塩素化合物は大量にはありませんでした。大量に工業的に作られたのは人間が塩素を使い出して有機塩素化合物を作るからです。しかし、火山の爆発や温泉地帯の塩素があるようなところでは、当然自然の生産はあったはずで、そのため、有機塩素化合物の問題も昔から自然にあった問題であるという理論を展開される方もおられます。

PCB 等が良い例ですが、非常に広がった状況、自然の中で出来上がったものであればそう問題はないのですが、局所的な地域で使用した場合は人に対する影響力が出てきます。局所的に出てくる有機塩素化合物には対応せざるを得ない。難分解性の物質は当然それはまだ残ってくる。

最近ではここにあるような PPCPs と言われる日常薬品が問題になってきている。

1つは抗生物質を大量に皆さん自由に使えるようになったわけです。人間のある種の DNA が損傷されて異常な細胞が増殖しガンになっていくということであれば、それを治すべく DNA を潰すようなものが抗癌剤としてあるはずで、それが多く使用されるようになると、ひょっとするとそれによって生態系の中に異常が起こりはしないだろうかという懸念が出てきて、河川での存在濃度や汚染の由来等の様々な調査がされています (ppt6~10)。

これは京都大学の田中先生が出されたものです。EU やドイツ、米国で様々な調査がされ始めており、河川の中で 100 種類以上の医薬品類の変化、あるいは実態を経年的に調査し、どこへ溜まっていった問題を起こすかどうかというのをチェックされている。

ただし問題はここですが、下水の流入水として様々な薬品が出てくるのですが、その時の濃度が ng/L なのです。

そこでぜひ考えていただきたいのですが、我々公害の時代は mg/L です、mg/L の 100 万分の一が ng/L です。つまり公害の時代から環境の時代へ移って、100 万分の 1 だけの除去という低いものまで対象にした処理をしなければいけないのか。人間サイドの工学的技術等を使いながらやる必要があるのかどうか。むしろ誰がやるのかというのが問題です。

つまり病院の中で高濃度でお使いならば、使ったということがわかったお医者さんが、その患者に 1 日泊まってもらい、病院の中で高濃度の医薬品を排泄するまで待ち、その後、一般社会へ復帰してもらおう。高濃度であれば処理は楽なのですが、ng/L になった物質を取り除くのは膨大な費用が必要になります (ppt11~13)。

このため、重金属と同じように、排出源で取ってもらうほうが安い。これは下水処理場での医薬品等の除去率です。活性汚泥によって除去率が 30%、100%のものまでありますが、かなり除去できます。しかし、取れることは取れますが、取ったあとまた汚泥に濃縮され、汚泥が廃棄できない。水中から除去されたイコール無機化した、炭酸ガスになったという保障ではないのです (ppt14)。

最後に生態学的に影響がどこに残るか。どうやったら最後の処分ができたかということを考えると、ng/L の物質を相手にする時代というのは、工学的にはできませんと言いますが、コストが合わないかもしれませんと言わざるを得ない (ppt15)。

このような物質がどこでどう出てくるかを解析されている方もおられます。要するに人がお使いになる場の近くでできるだけ止める。トイレの一部を工事して下さいといって、そのトイレだけ溜めればいいわけですから。そうしてもらって医薬品等を処理するのはまだ楽です。一般の下水の中に入って 1 万倍ぐらいに薄められてしまったら、これはもうどうにもならないということになります。このことを注意して、問題になってきたとしても、我々のほうで何もかも引き受けるのではなく、社会としてももう一度システムを作り直してもらわなければならないということがあります。もちろん医薬品の使用は命に関わることから、使ってはだめだとはなりません、使う以上は装置、施設なりシステムを作ってほしいという気がします (ppt16)。

近い将来、水が最も重要な資源となると言われていますが、今から水を常時自分の家に確保したり、雨水を溜めてそれを使うという行動が行き渡るかどうかです。個人等がそのような行動をとれるための仕掛けをもう一度作る必要があるかもしれない。定期的に 1 日間の断水、停電、ガスを止めるなどして、自分で自分の身を守る行動を身に付けてもらわないと、自然の環境まで各自で見ろといっても

ほとんど難しい時代になっているのではないかと思います。

社会が皆さんの安全を全て確保しますという時代は、ほとんど不可能に近くなってきています。ng/Lの世界を役所が保障することはほとんど無理だと思います。これから何年間かかるかはわかりませんが、10年、15年かけて、社会へ水を配る施設等を見直して、より効率的に使える方向になれば良いと思っております (ppt17)。

今日の研究会の口開けで、いろんな条件なり環境情報をお話しさせていただきました。ご清聴ありがとうございました。



琵琶湖・淀川水質浄化研究所  
技術研究発表会

研究発表開会際に当たって

平成19年11月13日  
コラボ滋賀21

龍谷大学理工学部  
環境ソリューション工学科 教授 宗宮 功

ppt-1

1. 環境の時代における行動規範は？

- 環境の時代のシンボルワードは  
省エネルギーと省資源であろう。
- 資源循環利用 **ゼロエミッション社会の構築**
- エネルギーと食料が持続可能な社会の限界を提示すると言われる。
- 地球温暖化の生活に及ぼす影響
- 「水」は最後の生存争いの材料になるとの予測は？・・・バーチャルウォーターは？
- 衣食住がある程度満たされた今、環境の時代にあって人の行動を規定するものは何か。
- NPO, NGOの活躍は何を意味するか？
- 若者の仕事離れとフリータ化は何を意味するか？

ppt-2

2. 水管理は？ 流域における水循環系の領域イメージ

水量水質管理はこの図ですべて満たされているのだろうか？

新鮮な水のみ管理するのか？

再生水は当然繰り返し使われている。ある一定の安全性の確保の元に

ppt-3

3. 水需要の多様化への対応

- 公共用水 (飲料水、水泳場など)
- 工場用水 (膜処理による自己生産の増大)
- 環境用水 (人の生活場用・・・身近な水辺の復活)

水源管理は誰がどこで実施しているのか？

- 表流水 (河川、湖沼、ダム)
- 地下水
- 再生水 (高度処理水)
- 地下貯留水
- 工場・家庭貯留水

生活域での安全な水資源賦存量の確保

ppt-4

4. 水量消費は？

○水消費量 普通生活者の水消費量は1日1人どの程度消費するのか？

○水の値段は？

(1家庭料金 円/20m<sup>3</sup>/月)消費額含む(1ヶ月あたり、人口5万人以上の都市平均)

ppt-5

日本の仮想水総輸入量

総輸入量: 640 億m<sup>3</sup>/年 日本国内の年間灌漑用水使用量: 590 億m<sup>3</sup>/年

(日本の単位数、2000年度に対する食料需給表の統計値より)

年間水利用量: 860 億m<sup>3</sup>、生活用水用: 163 億m<sup>3</sup>

東京大学生産技術研究所 沖大幹助教(2003.02.12) 提示資料

ppt-6

## 5. 安全な水とは？

- 疫学的安全性への対応
  - 消毒と滅菌
  - 過度の塩素処理
  - 浄水操作とは？塩素代替物の検討
- 難分解性有機物（有機塩素化合物、環境ホルモンなど）
- PPCPs (Pharmaceuticals and Personal Care Products)
  - 水環境中から分析されている医薬品
  - 各河川での存在濃度、汚染の由来
  - 処理場での除去率
- 微量汚染 (mg/lから μg/lないし ng/lの世界) で、誰が除去の責任を有すべきか？
  - 医薬品が環境中へ排出される予想経路

ppt-7

## 消毒（病原性微生物の殺菌）

**塩素処理** 微生物のDNAなどの部位に作用し、代謝活性をとめ、これを変質・破壊して、死滅させる。これに類するものし、次亜塩素酸処理、クロラミン処理、二酸化塩素などがある。

**オゾン処理** オゾンには被酸化物に対し特異性がなく、不飽和化合物を有する化合物に目の前から酸化を始める。よって、細胞壁などが破壊され、内容液が流出し、微生物は死滅する。

**物理的な処理** 紫外線照射、電子線照射、加熱処理、金属（銀など）の添加、磁界の照射 (?) などがあげられる。いずれも、微生物の殺菌であって、オゾン処理以外微生物と言う名の有機物を低減するものではない。

ppt-8

対象成分	除去可能単位プロセス	除去特性	備考	
病原性細菌 （一般細菌、大腸菌）	凝集沈殿→急速沈降	1~2 log	(90~99%除去)	
	急速沈降	2~3 log	(99~99.9%除去)	
	酸化・消毒剤	オゾン	2 log (99%除去)	0.02 (pH6~7)
		二酸化塩素		不活化に必要なCT値 0.4~0.75 (pH8~9)
		クロラミン		95~180 (pH8~9)
		UV		-
	塩素	0.05~0.34 (pH6~7)		
	病原性原虫 クリプトスポリジウム	急速沈降	0.5~1.0 log	(70~90%除去)
	シアルジア	凝集沈殿、浮上分離	0.5~1.0 log	(70~90%除去)
		急速沈降（直接沈降）	1~2 log	(90~99%除去)
膜沈降 (MF, UF)		5~7 log	(99.999~99.99999%除去)	
粒状活性炭		1~2 log	(90~99%除去)	
酸化・消毒剤	オゾン	2 log (99%除去)	不活化に必要なCT値 (mg·min/ℓ) 5~10(0.95) 160(15)	
	二酸化塩素		水溫10度 14 400(30)	
	クロラミン		( )外はクリプトスポリジウム -	
	UV		14 400(80)	
塩素	-			

ppt-9

## 2) 難分解性有機物（有機塩素化合物、環境ホルモンなど）

トリハロメタン (THM)、TOX、PCB、BHC、DDTなどの有機塩素化合物は、人の生活の場近くで使用され、人が製造した有機塩素化合物は、自然存在しなかったことから、自然の浄化過程が作られていない、多くは発がん性物質を有し、使用が禁止されている。

一方、「環境ホルモン」とは、生体の成長、生殖や行動に関するホルモンの作用を阻害する性質を持っている化学物質のことで、正確には「内分泌攪乱化学物質 (Endocrine Disrupting Chemicals)」と呼ばれています。

内分泌系は、ホルモンとそれを分泌する内分泌腺からなっていますが、どのようなホルモンでも、その過剰や不足により病的症状を引き起こします。内分泌攪乱化学物質は、生体内でホルモンのようなふるまいをして本当のホルモンの働きを攪乱したり、ホルモンの働きを邪魔したりして、生体の生殖や発育という基本的機能に障害を与えます。

現在、内分泌攪乱化学物質として70種類に及ぶ物質が疑われていますが、これらの中には、ポリ塩化ビフェニール (PCB) や DDT、ダイオキシン類のほか、界面活性剤の成分であるノニルフェノール、ポリカーボネート樹脂やエポキシ樹脂の原料であるビスフェノールA、塩化ビニル樹脂の可塑剤に用いられているフタル酸エステルといった現在も広く使われているものも含まれています。

ppt-10

## 3) 新たな汚染物質として注目されるPPCPs

- EU:
  - 人用、動物用医薬品の環境リスク評価の義務化 (Dir2001/82&3/EEC)
  - Poseidon, ERAVMIS, REMPHARMAWATER等のモニタリング、対策技術などの展開
- ドイツ
  - 下水や表流水、地下水、飲料水中からの検出と対策
- 米国
  - USGS: 100カ所以上の河川で100種程度の医薬品類の実態を経年的に調査
  - U.S. EPA: 分析法、水道除去、水環境中での挙動
- 国ごとの使用特性を持つが、わが国は対応遅れる
- 検出方法、実態把握、評価、対策技術の研究開発が急務

京都大学大学院工学研究科 付属流域兼官教室研究センター 田中宏明教授資料

ppt-11

分類	化合物名
抗凝血薬	ベザフィブレート、クロフィブレート、フェノフィブレート、エトフィブレート
抗血小板薬	クロフィブリック酸、フェノフィブリック酸
抗炎症・鎮痛薬	コデイン、イブプロフェン、アセトアミノフェン、アセチルサリチル酸、ジクロフェナク、フェンプロフェン、インドメタシン、ナプロキセン、フェンプロフェン、ケトプロフェン、フェナゾン、アミノピリン、フェニルブタゾン、コデイン
抗炎症・鎮痛薬の代謝物	サリチル酸、o-水酸化ヒプロリック酸、センチシク酸、オキシフェニルブタゾン
βブロッカー	メトプロロール、プロプラノロール、チモロール、オキシアレンロール、アセフトロール、アタノール、ナドロール、ベタキソロール、ソタロール
β作動薬	フェノテロール、フルブタリン、サルブタモール
利尿薬	フロセミド、水酸化クロロチアジド
抗痙攣薬	シメチジン、ラニチジン、オメプラゾール
精神安定薬	ジアゼパム
抗鬱剤	フルボキサミン、フルボキサミン
抗てんかん薬	カルバマゼピン
精神興奮剤	カフェイン、コチニン (ニコチン代謝物)
X線造影剤	イオプロミド、イオパミドール、イオメプロール、アミドトリゾック酸
抗腫瘍薬	イフォスファミド、シクロフォスファミド
強心薬	ジゴキシン、デヒドロエジピン
抗糖尿病薬	グリベシタミド、グリボキサミン
動物用・人用抗生物質	トリメトプリム、スルファメトキサゾール、シクロキサリン、ニューキノロン系、βラクタム系、マクロライド系
ステロイド・ホルモン	エストラジオール、エストロン、エストリオール、ジェステルベステロール

JSWE, Vol.29, No.4, 2006, p.187 (山本など)より

ppt-12

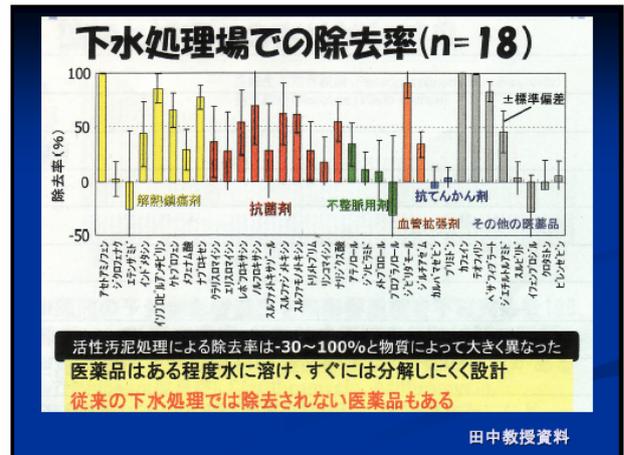
表1 下水処理場の流入下水および処理水中の医薬品類濃度の測定例 (上段：流入下水、下段：処理水)

(単位:  $\mu\text{g/l}$ )

分類・薬名	スイス	スウェーデン	ドイツ	スペイン	ドイツ	オーストリア	スペイン	スイス	フィンランド	日本	日本
解熱・鎮痛剤	Diclofenac	3020		2000	3100	n.d.		1400	210		
	Ibuprofen	2810		810	1900	n.d.		900	250	714	54
	Ketoprofen			3100	5000	1500	2780	1880	13000		
	Naproxen			1800	370	22	970	60	1300		257
	Naproxen				3300						228
抗凝固薬	Warfarin			1780							128
	Warfarin			1780							104
抗てんかん剤	Carbamazepine			4900	2565	n.d.		410			
	Carbamazepine			2200	103	n.d.		205			
抗生物質 (マクロライド系)	Clarithromycin			1786	2200	812		680	750	170	
	Clarithromycin			1650	2100	980		480	400	241	618
抗生物質 (ニューキノロン系)	Levofloxacin				830	43	n.d.	20			370
	Levofloxacin				100	68	n.d.	15			611
X線造影剤	Ciprofloxacin	434	158								425
	Ciprofloxacin	72	25								
	Norfloxacin	583	102								
X線造影剤	Isoniazid			4600	13000	n.d.	6500	810			
	Isoniazid			9300	750	n.d.	9300	790			
文献番号	8	9	3	10			11			12	13

JP088, Vol.29, No.4, 2006, pp17-18  
本編: 3/3

ppt-13



ppt-14

## 生態影響評価

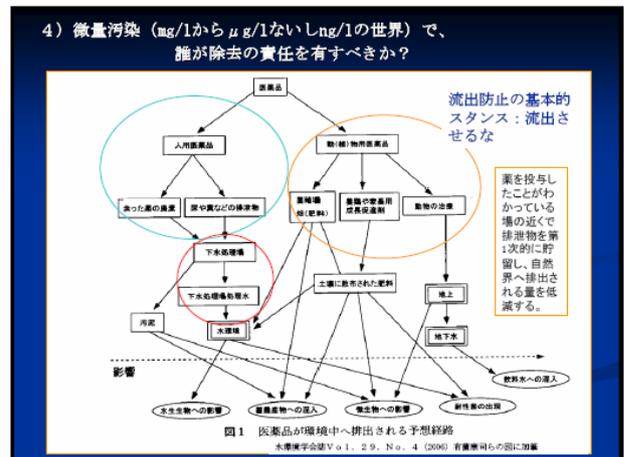
- 環境水・下水処理水のPPCP削減の意義を生態リスクの視点から評価
  - 一次生産者藻類と消費者細菌など
  - ハザード比 (環境濃度/予測無影響濃度) を考慮し、重要度の高いPPCP整理

緑藻を用いた増殖阻害試験

発光細菌を用いた毒性試験

田中教授資料

ppt-15



ppt-16

## 6. おわりに

われわれは便利な時代に生きていることは頷ける。ただ、個人の欲望の結果生まれる多くに好ましくない(環境)事象は、社会が解決すべきだという他力本願的、拝金主義の時代となっている。

近い将来「水」がもっとも重要な資源となると言われても、今から水を常時自家に確保したり雨水を貯留する行動には結びつかない。個人を動かす仕掛けが要るのかも知れない。

たとえば、定期的に1日間水道断水、停電、ガス止めなどの日を設定し、自分で自分の身を守る行動を身に付けてもらう必要がある。

ppt-17

# 基調講演



## 琵琶湖の BOD、COD の乖離問題に関する一考察

龍谷大学工学部環境ソリューション工学科 准教授

岸本 直之氏

ご紹介ありがとうございます。龍谷大学の岸本でございます。

今日は琵琶湖の BOD、COD 乖離問題に関する一考察についてお話しさせていただきます。

皆さんもご存じのように琵琶湖の BOD/COD 乖離問題は、この 20 年来ずっと観測されてきて、未だに原因がよくわからないという非常に大きな問題です。今日の私のお話の中でも、これが実は要因なのだとか特定する事は当然できませんが、今までに様々な研究機関でいろいろな調査・研究がなされていますので、その結果等を踏まえながら、ありそうな要因というものを探っていきたいと考えていますので、よろしく願い致します (ppt1)。

はじめに、BOD/COD とは何かという話を簡単にさせていただいてから、実際の BOD/COD の乖離問題のお話に入っていきたいと思います。

まず COD ですが、COD は Chemical Oxygen Demand の頭文字で、日本語で言いますと化学的酸素要求量と訳されます。これはある条件下で水中の物質によって消費される酸化剤(化学薬品)の量を酸素量に換算して表示したものです。このある条件下というのが曲者でして、日本では 100°C の酸性過マンガン酸カリウム法が標準法であり、COD マンガンと一般には言われます。

それに対して海外では硫酸酸性二クロム酸カリウム法というものが主流になっていて、こちらのほうを COD クロムというかたちで別途区別して呼んでいます。海外で COD と言いますと普通はこの COD クロム法を指します。

この両者の違いというものが実は大きく BOD/COD の問題に関わっており、この COD クロム法はほとんどの有機物を完全に分解してくれるということが、これまでの様々なデータ、また経験からわかっております。

それに対して、COD マンガンというものは、必ずしも全ての有機物を分解するわけではありません。ここが琵琶湖の BOD/COD の問題を考えるときに、非常に解決を難しくしている要因の 1 つになっているのだらうと思います。

それから水中の物質によって酸化剤が消費されるということですが、普通は COD と言えば有機物の指標だと我々は思っているわけです。ところが実際には有機物以外のもの、特に還元性の物質が COD にかかってまいります。例えば 0 価の鉄があった場合ですと、やはり酸化剤で酸化され最終的に 3 価の鉄になる。このときに電子を放出するわけです。電子を放出するというのは、つまり酸化剤を消費するということになるわけです。

最後に酸素量に換算するというのですが、COD は酸化還元反応を使っています。酸化というのは電子を奪い取ることです。酸化剤は相手の物質から電子を奪い取ってしまうのですが、その酸化の程度を酸化剤の量で表すと、酸化剤の種類が変わったときに直接比較が難しいという問題があります。そこで COD では、この酸化剤の量を酸素量に換算するというを行います。

どうやって換算するのかというと、酸素原子は例えば  $\text{CO}_2$  のような化合物状態では、2 個の電子をもらって  $\text{O}^{2-}$  という 2 価の負電荷を持った状態で化合物上に存在します。ですから酸素原子 1 個が電子 2 個を奪い取る能力を持っているということになります。酸化剤も同じように電子を奪う能力を持っていますから、この電子 1 個あたりどれぐらいの酸素、もしくはどれぐらいの酸化剤が消費されるかで換算をするということです。実際に計算をしてみますと、COD 8mg は 1mmol の電子量に相当するというかたちで変換をしているわけです (ppt2)。

一方、BOD は Biochemical Oxygen Demand の頭文字で、

生物化学的酸素要求量と訳されています。基本的には20℃、5日間で好気性のバクテリア群により、代謝分解されるときに消費される酸素の量をBODとして表しています。例えばグルコースの場合でしたら、このような $C_6H_{12}O_6$ というものが6つの酸素分子と反応して、最終的に $CO_2$ と $H_2O$ になるということです。

この20℃5日間で標準的な方法ですが、実はここにも穴があります。BODという我々は生物が分解可能な有機物の総量を表しているといったイメージを持っていますが、実際には生分解性有機物があっても全部分解するわけではありません。

例えばBODの標準物質とされているグルコースやグルタミン酸の分解率は、70%前後ぐらいです。ということは、グルコースやグルタミン酸というのは非常に生物に使われやすい有機物だと思われていますが、そのうちの30%はBODとしてカウントされないのです。このことをBODでないから全部難分解性だとか、そういった議論をするとそこで穴に陥ってしまうということになるわけです。

BODですけれども、この消費した酸素量でBODを表しているのですが、酸素量とは結局、酸素分子が最終的に $CO_2$ になるということで、 $CO_2$ になった段階で1つの酸素原子あたり2個の電子を奪い取っているということになりますので、先ほど説明いたしましたCODと同じ単位でカウントをしているということになります。この点からBOD/CODというのは尺度が同じということで、生分解性等の評価に、ペアで使われることが多くなっています (ppt3)。

実際に琵琶湖のBOD/CODの乖離現象のお話に入りたいと思います。

こちらのグラフは皆さんもよく目にしておられます琵琶湖の北湖のBOD/CODの経年変化を表しています。このデータは滋賀県の環境白書から引用したものです。この赤色がCODです。概ね昭和59年あたりを境にして、このようにずっと上がっていつている。一方BODはその後もじわじわと減少を続けており、これを乖離現象と呼んでいます。

この昭和59年以前と言いますと、昭和55年でしたか、琵琶湖の富栄養化防止条例が発布され、その施行により順調にCODもBODも改善されていきました。しかし、昭和59年を境にして、いわゆるBOD/CODの乖離問題が起ってきた。

こちらの青のプロットはBODとCODの比です。BODを分母にCODを分子にとって比を取ってやると、BODが減少しCODが増えていきますので、比はどんどん上昇していく。昭和59年頃ですと概ね2.5であったものが、平成17年のデータですと概ね4.5であり、この20年の間に比が2ぐらいい増加しています (ppt4)。

このようなCODの増加現象というものが、果たして琵琶湖だけの問題なのと考えますと、実はそうでもなさそうなのです。これは青森県の十和田湖のCODの経年変化を示しています。これは青森県の環境白書から引用したものです。環境基準が十和田湖の場合はCOD1.0mg/Lですが、概ね昭和55年までは1.0mg/L程度でほぼ横ばいであった。ところが、昭和57、8年頃からやはり同じように増加傾向に入っているということです (ppt5)。

こちらは霞ヶ浦のCODの変化です。霞ヶ浦の場合は周辺の開発が非常に急ピッチで進みましたのでかなりばたつきがありますが、昭和50年以前は増加傾向にあったわけです。

一旦、昭和60年ぐらいから減少に転じている。これはなぜかと言いますと、昭和60年に湖沼水質保全特別措置法に基づく指定湖沼に指定されました。その結果として4期20年にわたる霞ヶ浦にかかる湖沼水質保全計画というのが策定され、ここに示しますように下水道の整備、高度処理化、高度処理浄化槽の普及、工場等の排水規制、さらには家畜を飼っているエリアがありますので家畜排泄物処理施設などの整備、それから農地の適正施肥、森林の整備。また、湖内のウェットランドの整備による湖内浄化、さらに底泥浚渫等などの湖内対策などを行い、昭和60年以降に一旦下がってきました。ところが平成3年ぐらいからまた一旦上がり、最近では横ばい傾向に落ち着いているという状況となっています (ppt6)。

このような十和田湖や霞ヶ浦の状況が果たして琵琶湖と同じ現象なのかどうなのかというのは異論のあるところでございまして、もちろん滞留時間が違うなど周辺の状況が違いますので、必ずしも一概にこれが琵琶湖と同じ現象だとは言えません。ただCODの増加という現象自身は必ずしも琵琶湖だけに限ったものではないということです。

その意味で琵琶湖の COD 増加問題の原因等の一端が明らかになれば、ひいては日本全国の貴重な淡水湖沼の水質保全にも役立っていくのだろうと思います。

霞ヶ浦につきましては、茨城県だけではなく、国立環境研究所などを中心として様々な研究、調査や解析が行われています。その結果、現在霞ヶ浦の水質の改善が停滞している要因としてここに挙げた3つが考えられています。

これらの要因は今年の始めに出された霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画の第5期計画に記載されているものです。1つ目は不十分な流域対策。2つ目が過去に流入した汚濁物質の湖内での蓄積。3つ目が難分解性有機物の増加。このような要因があるのではないかと推測されています。

この1つ目の不十分な流域対策というのは、流入負荷の削減が不十分であるという意味です。これは霞ヶ浦の周辺というのは人口がかなり多く、もちろん下水道整備等を進めているのですが、人口増加に対してそれがまだ十分ではないという認識です。

2つ目の過去に流入した汚濁物質の湖内蓄積は、湖内のどこに蓄積するかというと底質なわけです。底質から有機物等が溶出して湖内にまた戻ってきているのではないかと。いわゆる湖沼の自濁作用の一種です。そういったものが寄与しているのではないかとということです。

3つ目は BOD として測定されないが、COD として測定されるような物質が増えているのではないかと。それをここでは難分解性有機物と呼んでいます、このような成分が増えているのではないかとというような考えです (ppt7)。

今からこのあたりに沿いながら、果たして琵琶湖ではどうなのかということも含めて考えていきたいと思えます。

琵琶湖を見たときに COD/BOD 比に及ぼす流入負荷の影響ということですが、まずなぜ流入負荷に着目するのか、一般に我々は湖沼対策というと流入負荷を何とか減らそうという話がまず一番先に持ち上がるわけです。

例えば、これを琵琶湖だと思っていただくと、琵琶湖の中には有機物、COD 成分が蓄積しているわけです。水中を見てもみますと、湖の体積を  $V$  として濃度を  $C$  としてやれば、 $(濃度) \times (体積)$  で湖の中の存在量が出てまいります。それに対して当然流入があって流出があります。この結果としてこの蓄積量が決まっていると考えれば、流入が増えて流出がそれほど増えなければ、当然水中の蓄積量は増え

る方向に向かう。それがこの物質収支です。湖内の蓄積量の変化  $(dC/dt)$  (湖内蓄積量の時間変化) がこちらになりますが、こういったものが流入負荷と流出負荷の差と湖内の生成・分解といったようなものによって決まってくるということです。

すなわち湖内蓄積量の時間変化量がプラスということになれば、濃度が増えていくということです。これは COD の増加につながるので流入負荷をまず我々は注目するわけです (ppt8)。

琵琶湖への流入負荷に関して様々な考えというか推測、疑問が出てまいります。1つは、琵琶湖は滋賀県ほぼ全域に集水域を持っており、滋賀県は現在もまだ人口増が続いているため、人口増などの要因で COD などの総流入負荷が増えたのではないかと。そういう推測が成り立ちます。

それから滋賀県では下水の整備が急ピッチに進められてまいりました。これは環境保全に役立っていると思っておりますが、その結果として、従来屎尿処理場で処理をしておいたくみ取り尿尿が、逆に下水道を通して一部琵琶湖に流入するようになったのではないかと。これは何を言っているかということ、屎尿処理場での COD の除去率と下水処理場における COD の除去率を比較すると、屎尿処理場のほうが COD の除去率は高い。今までくみ取って屎尿処理場で高効率の屎尿処理を行っていたものを、下水道に接続して下水処理場で処理をするようになったがために、逆に除去率が低下し流入負荷が増えたのではないかと推察です。

3つ目として、下水処理は好気性微生物の作用で有機物を分解するというものですから、BOD 成分が優先的に分解除去されていきます。その結果として BOD が下がった。BOD が下がると当然比としての BOD/COD 比は上がる。このような影響が下水処理の普及によって出てきたのではないかと。という考えも過去には示されています (ppt9)。

まず1つ目、琵琶湖の COD の総流入負荷は増えたのかということです。

こちらのほうのグラフは滋賀県の環境白書から引用したもので、5年ごとの流入負荷量を1年当たりのトン数で示してあります。この黄色が自然発生源、水色が農業排水系、それから黄緑色が工場排水系、赤色が生活排水系です。生活排水系、工場排水系、農業排水系、どれも年を追うご

とに順調に流入負荷は減っている。自然系は面源負荷の対策の難しさもあり、明確な減少傾向は見られませんが、トータルとして見れば確実に総流入負荷は減っていると言えるだろうということです。

もちろん、自然系については特に算定の難しさがあり、不確定な要素がかなり大きい。今後、自然系の部分の計算の精度が上がれば評価が若干変わるかもしれませんが、ただ 2 倍になるということはおそらくないと思われますので、やはり流入負荷というものは確実に減っているだろうと考えられるわけです (ppt10)。

次に下水道の整備により尿尿等が入ってきた影響はあるのかについてです。このグラフは滋賀県の公開されている統計データを使いながら COD 負荷の経年変化を日平均で表したものです。縦軸は ton/d です。これは家庭排水系のみを計算しています。

このグレーの部分が無処理の生活排水。青の部分下水道、オレンジ色の部分が合併浄化槽、ただしこれは農場集落排水処理施設も含んでいます。それから赤色が単独浄化槽、緑色の部分が削減された COD 負荷です。

積み上げグラフになっていますので、この一番上のラインが人口増などによって流入負荷が増えていくパターン、全発生負荷を表しています。それに対してこの緑色の部分が、様々な家庭排水の処理施設整備により削減された部分になります。

これを見ると、下水道の整備やそれ以外の排水処理施設も含めて、明らかに削減効果が大きく出ています。例えば 2001 年と 1985 年頃の削減量を比較しても、削減量は 2 倍以上に増加しています。トータルの流入負荷は、単独浄化槽以下の部分の面積ですが、トータルの流入負荷というのは確実に減ってきています。

実際にこの計算結果から 2001 年度の日負荷量というものを求めると、概ね約 12ton/d になります。1985 年、ちょうど BOD、COD に乖離問題が起こりはじめる節目の年になりますが、そのときと比較しますと COD 流入負荷は概ね 40% ぐらい削減されているという評価になります。

これと同じような計算を滋賀県の琵琶湖環境科学センターの大久保さんのグループもやっておられまして、そこでもやはり同じ年度で見ると、約 40% の COD 削減評価が得られているだろうということで、削減率 40% とい

う数値はおそらく正しいだろうと思われます。

これを見ると下水道の整備によって尿尿が入ったことによって流入負荷が増えたというようなことはどうもなさそうだと考えられます。そうはいつでも下水処理は BOD を除去するシステムじゃないかと、BOD を除去したことによって BOD/COD 比率が上がったのではないかという疑問はまだ残ります (ppt11)。

こちらは同じような計算を BOD に対して行ったものです。これを見ると確かに COD の減少に対して、BOD の減少のほうが圧倒的に大きいです。下水処理場等を整備することにより、家庭排水系から出てくる BOD/COD 比は上がっていると考えられます。

実際にこのデータを使って計算をすると、家庭排水系全体の流入 COD/BOD 比を求めると、1985 年が 0.71、2001 年は 0.83 であり、確かに 0.12 程度比が増えています。ところが同じ期間の琵琶湖の COD/BOD 比の変化は、2.5 から 4.5 に 2 ほど増えている。下水道の整備に伴う 0.12 の増加がこれに寄与しているかということ、もちろん全く寄与しないとは言いませんが、かなり限定的な影響しか与えていないだろうと推測されます。

このような話を一通り見てみると、琵琶湖への COD 流入負荷というのは、COD/BOD の乖離問題に関する明確な要因としては認めがたいというのが、現時点での知見となります (ppt12)。

ではこの流入負荷はどうも要因としては薄そうだとすれば残ってくるのはおそらく湖内の要因だろうということになります。ここからは湖内の要因について若干見ていきたいと思います (ppt13)。

これは琵琶湖北湖の今津沖中央水深 0.5m 地点における季節別の COD の経年変化を示しております。早川(2000)のデータを引用させていただいています。この赤いラインが夏、黄色のラインが秋、緑のラインが春、水色のラインが冬です。夏～秋はプランクトンが発生しやすい時期なので、表層の COD が冬や春に比べて高くなっています。しかし、夏と秋に着目して経年変化を見ると、どうも増加しているようには見えない。一方、冬や春は増加している傾向が見えてくる。琵琶湖の COD の増加というのは、当然年平均で出していますので、年平均で増加しているのですが、

どうもこれは春や冬に湖に残存している有機物が影響を持っていそうだと思います (ppt14)。

これは同じ早川のデータで、湖水の深層(水深 80m)部分の COD を同じように季節別に経年変化を取ったものです。表層と異なり、深層では季節的な差というのはほとんど見られません。四季を通じて徐々に増加している。どうも COD の増加は深層水に残る有機物、冬や春に残るような有機物が影響を持っていそうだとということになります (ppt15)。

冬や春、それから深層は、比較的生物の活動の不活発な時期もしくはエリアになります。このことから生物の活動等とは別の所で起こっているような印象を受けます。これは高橋(1999)のデータになりますが、今津沖中央の有光層での COD とクロロフィルの経年変化です。クロロフィル a は一次生産の基礎になるデータになります。例えばプランクトンが多ければクロロフィルが多くなるので、一次生産も増えるだろうと普通は考えられるわけです。これを見ると、クロロフィルは年によって高低のバラツキがありますが、COD の値はこのクロロフィルの値にほとんど影響されていない、相関がないと言えます (ppt16)。

これがどういうことなのかについて、COD と BOD の関係を再度見ていきたいと思えます。実際に測っていませんのでわかりませんが、COD クロムは全有機物量を基本的に表しています。それに対して BOD は生物が分解する有機物を優先的に測っている。COD マンガンはどこからどこまで測っているかは定かではないですが、BOD の一部も測るし、BOD にかからない物質の一部も測る。難分解性有機物が増えているという話は、この BOD にはかからないが COD にかかる部分。この成分が増えているのではないかという考え方です。

先ほど一次生産がどうも影響しているのか、していないのか微妙だという話を致しましたが、実は松井(1975)が COD マンガンの測定値に対していくつかの検討をしており、その中で懸濁成分が COD マンガンの測定値にあまり影響をしてこない。懸濁性の有機物が入っていても分解率がそれほど上がらない。要するに濾過したか濾過しないかで、COD の値はそれほど大きくは変わらないというこ

とを言っています。

このため、先ほどクロロフィルと COD の相関がなかったというのは、クロロフィルは懸濁態の成分を表しているの、懸濁態成分がたまたま COD マンガンでは測定されにくい成分であったがために、見かけ上その差がなかったのではないかと考えられます。このため、現時点では生物の活動と COD の関係は、あるともないとも断言できないといった状況です (ppt17)。

COD を考える時には溶存態の有機物をターゲットにしてやるのが重要だろうと思われま。これは実際に琵琶湖で溶存態の有機物(DOC)を測定したのですが、それが増加傾向にあるのかということです。実は過去のデータが DOC についてはほとんどありませんので比較可能なものがないのですが、高橋(1999)が過去の文献で報告されている例を引用し、85年と97年で比較した例があります。

これを見ると、85年に対して97年は増加しているとは言えず、むしろ減少している。これを見る限り DOC が増加しているということはどうも認められない。

ただし、高橋も指摘していますが、この85年のDOCの測定方法と、97年のDOCの測定方法が若干異なります。具体的には懸濁態と溶存態を分ける濾紙の孔径の大きさが異なります。全般的にDOCの値は97年が低くなっており、これは濾紙の孔径の小さいものを使ったことが原因だろうということで、高橋の考察では増加しているとは言えないが、減少しているとも言えないという結論となります (ppt18)。

ここまで来るとだんだん袋小路に入ってきますが、琵琶湖におけるDOCの挙動をもう少し詳しく見てみたいと思います。

これは早川・高橋(2002)のデータです。黒丸が琵琶湖表層のDOCの経月変化、白抜きが琵琶湖の深層40mの経月変化を表しています。表層のDOCは山なりの分布、底層では谷のような分布が得られています。この表層の山になっている部分の季節を見ると、夏から秋であり、植物プランクトンの光合成による溶存態有機物の供給であろうと考えられます。

一方、冬における底層と表層のDOCがほぼ一致していますが、この時期は琵琶湖が全循環に入る時期になり、上下

混合が起こり琵琶湖全体の DOC が均一になったということです。その結果として深層の DOC が一旦上がり、ここで表層の DOC が一旦深層のほうにも供給されているということになります。

表層と深層で乖離のある期間は水温躍層により、深層と表層が完全に分離している状態です。この間は深層と表層の間で有機物とか物質のやりとりがほとんどなくなるという前提でこの部分を見ると、深層では DOC が少しずつ減少傾向にある。ということは、深層において、有機物の分解が減少速度は遅いが起こっていると考えられます。これは深層にある有機物はどうも微生物分解がされにくい、非常に分解速度が遅いということです。よって、微生物によって分解されにくい溶存態の有機物、DOC 成分がどうも悪さをしているのではないかということが推測されます (ppt19)。

DOC に関する様々な研究は非常に情報が限定的です。ここでは国立環境研究所の今井ら (2001) のグループによって行われている方法を簡単に紹介致します。

琵琶湖でも一部行われていますが、主に霞ヶ浦で実施している方法です。サンプルを採取し、一部は樹脂の吸着法で有機物を特定づけ、分画してその性質を調べようという方法です。基本的には疎水性、親水性、それから塩基性、酸性というもので分画をするということです。詳細は省略致します。それと同時に彼等は生分解試験と称してサンプルをろ過した湖水を 20°C で暗所に 100 日間放置し、その間に DOC 成分がどのように変わるかということも調べています (ppt20)。

その結果をご紹介させていただきます。彼等が分離しているのはフミン物質、疎水性中性物質、親水性酸、塩基物質、親水性中性物質というかたちで、主にこの 5 パターンに分類しています。フミン物質はいわゆるフミン酸とかフルボ酸に相当するもの。それから疎水性中性物質というのは炭化水素など。親水性酸というのは脂肪酸とかヒドロキシ酸、オキシ酸といったものです。そういったものに対応すると彼等は定義づけをしています (ppt21)。

これは霞ヶ浦において実際に流入河川水等々からサンプルを採取して、分画をして分析した例です。これが霞ヶ

浦になります。流入河川水、森林渓流水、畑地浸透水、下水処理水、さらにプランクトンの培養液といったものも分析をしています。

まず霞ヶ浦を見ますと、この黒棒部分、AHS と書かれているのがフミン物質です。この斜線で書いてある部分は親水性酸に相当します。湖水を見ますとフミン物質と親水性酸が圧倒的に多いということが理解できるかと思えます。それぞれの起源によってかなり特徴的な分布パターンを示しています。注目いただきたいのは湖水と下水処理水のパターンが似ていることです。湖水と下水処理水は、いつ採水しても同じようなパターンが得られると彼等は指摘しています。

もう 1 つ注目いただきたいのは、マイクロキスティスの培養後の培地の有機物量です。マイクロキスティスはアオコの原因として知られており、霞ヶ浦でも頻りに観測されています。培養液を見るとフミン酸は少なく、逆に親水性酸が割合として多い。藻類の生産したものが DOC 等に寄与するだろうというのは当然考えられるのですが、これを見るとどうも藻類の生産したものと湖水はかなり違いそうだということがわかります (ppt22)。

こちらは 100 日の生分解試験後のデータで、縦軸は分解率です。霞ヶ浦の湖沼の水では、DOC として概ね 10% の分解率、フミン酸は 6、7% 程度、親水性酸はそれよりも若干多いですが 15% 程度の分解率です。湖水もフミン物質や親水性酸も分解率というものは非常に低いということが言えます。

注目していただきたいのはマイクロキスティスの培養液です。分解すると逆にマイナスになっていますが、これは増加していること示しています。つまり他の分画が分解され、バクテリアの分解により親水性酸が生成しているということです。実際に生産された有機物が湖沼の中で貯蔵されますので、このような親水性酸等の供給が 1 つの鍵ではないかと考えられます (ppt23)。

以上、霞ヶ浦での DOC に関する知見をまとめます。湖水中の DOC の大部分はフミン物質と親水性酸から成っています。フミン酸は難分解性、親水性酸も比較的難分解性である。それから植物プランクトンの光合成産物は親水性酸がかなり多く、フミン物質は少ない。植物プランクトンの

光合成産物は易分解性であり、トータルの分解率は高く50%程度あります。植物プランクトンはトータルとしては分解性の高いものが多いということです。植物プランクトンの光合成産物を微生物分解すると親水性酸が生成される。このあたりがどうも難分解性のDOCの供給の1つの系路になっているのではないかとということです (ppt24)。

また今井(2001)は難分解性のDOCがどこからやってくるのかということを調べています。結果を言いますと、フミン物質は主に河川水から経路して外部由来だろうと彼等は推測しています。一方、親水性酸は河川流入も当然有りますが、内部生産による寄与も河川による流入と同程度ありそうだという評価をしています。さらに冬場に限定してみると、下水処理水による親水性酸の負荷も、河川水と同程度まで上がってくるだろうということです。

このグラフは難分解性DOC全体として書いています。下水の寄与度はそれほど大きくありませんが、親水性酸だけに限定して見るともう少し上がってくるということです (ppt25)。

今井ら(1998)のグループが同じ分析方法を琵琶湖に対しても適用しています。これは琵琶湖の湖水の例です。分画してやりますと、やはりフミン物質が高く、親水性酸も高いということで、霞ヶ浦の状況とかなり類似した分布を示しています。

彼等はそれに対して紫外線吸光度を測定し、UV/DOCの比を使って、内部由来か外部由来かということの評価しており、その結果は琵琶湖においてDOCはかなりの部分が内部生産性だろうと考えています (ppt26)。

これは吉岡(2001)が行ったDOCの起源に関する琵琶湖のデータになります。98年~99年にかけて琵琶湖のDOC成分を三次元蛍光分析という方法を使って分析をしています。その結果、腐食物質様蛍光を外部由来と仮定し、琵琶湖の表層、深層のDOCの外来性の割合を求めています。

黒丸が全体のDOC、外来性の割合はこのバツ印です。見て見ますと概ね表層で40%が外来性、深層で50%程度が外来性ではないかと評価しています。

ただしその後、この評価については若干の疑問が付けられております。実は琵琶湖の水のフミン酸の分子量を測定

すると分子量が非常に小さく、外来性のフミン酸やフミン物質は、分子量がかなり大きいようです。そのため琵琶湖のフミン酸は琵琶湖の中で生成したフミン酸(水成フミン酸)ではないかという考えが示されています。仮に水成フミン酸だとすれば外来性の割合が吉岡の評価よりさらに低下することになり、その意味では今井らの検討した内部生産性が強いという評価と一致するのではないかと思います (ppt27)。

こちらは琵琶湖研究所で測定されたDOCの生分解性に関するデータです。琵琶湖研究所では30日間の生分解性試験をやっています。その結果、概ね琵琶湖の表層水であれば30日間で5~8%ぐらい有機物が分解する。この分解率は霞ヶ浦とあまり変わりません。霞ヶ浦では100日間ですが、100日間で十数パーセント程度なので、多分同じような分解率だろうと思われま

す。彼等は糖類に着目して、単糖類の分布を調べています。ここにありますようなアラビノース、キシロースという成分が微生物分解後に残存しやすい。微生物分解をすると深層水の単糖組成と表層水の単糖組成が似てくるということ報告しており、どうも深層水は微生物分解によってDOC成分が安定化した状態にあるのではないかと考えられます (ppt28)。

ここまで難分解性DOCについていくつか見てまいりました。若干まとめますと、湖水中のDOC成分は、フミン物質と親水性酸が卓越しています。これは琵琶湖、霞ヶ浦どちらも同じです。フミン物質は難分解性であり親水性酸も概ね難分解性である。また微生物分解をすることで親水性酸が増加する。ところが難分解性のDOCは本当にこの20数年間の間に増えているのか、それから難分解性DOCはどうして供給されるのか、これが問題です。

実はこれに対しては答えはほとんどありません。じつは分画手法はこの10年ぐらいで開発された手法で、過去のデータがないのです。過去の難分解性DOCがどれぐらいあったのかというのは誰もわからないのです (ppt29)。

仮に難分解性DOCが増えていたとして、問題はそれがどこから供給されてくるのかということです。それを見たいと思います。

我々の計算結果の1例ですが、これは下水処理水のCOD負荷で、2001年度のデータを使っています。こちらが下水道、上が合併処理浄化槽+農業集落排水処理施設で、全体で3ton/d程度の流入負荷があります。今井らの分解実験のデータを使って、難分解性DOCと難分解性COD、どちらも基本的には分解率は同じであると仮定しますと、流入CODの約70%が難分解性成分になるだろうと考えられます。COD負荷3ton/d程度なので、その7割、2.1ton/d程度が難分解性CODとして最終的に琵琶湖に残存するだろうということです。

これはかなりオーバーですが、仮に難分解性CODが全く湖内では分解しないと仮定した場合、(日負荷量×滞留時間)÷琵琶湖の容量により、琵琶湖のCODに及ぼす寄与が出せます。このような計算をしてみますと、下水処理水の流入による琵琶湖のCODの寄与は0.14mg/L程度という評価になります。琵琶湖のCODが2.5ぐらいですから、それから比べるとかなり小さく、下水処理水の流入による寄与はそれほど大きなものではないという結果です(ppt30)。

それから難分解性DOCの供給先として、溪流河川水、森林由来のものが特にフミン物質については非常に大きいということで、そちらも計算をしてみました。これは溪流由来のCODの流入負荷の5年ごと変動です。COD負荷量は滋賀県の環境白書から引用したものです。それに同じように今井らのデータから、排出されるCODの70%が難分解性CODと仮定しますと、このような日流入負荷量が出てきます。

これを例えば2000年度のデータを使って、自然系排水による湖水CODの寄与というものを計算してみると、概ね0.93mg/L程度となります。これはあくまでも難分解性CODが湖内で分解されないということですから、実際にはこれよりもう少し低いと思いますが、数値としては山林からの流入というのは結構大きなものがあるわけです。

ただし、ここで問題は経年的に増えてないのです。流入してくる有機物の質が変わったということであれば別ですが、それをポジティブに肯定するようなデータというものはありません。確かに自然系由来のものは寄与が大きいのですが、これはおそらく琵琶湖のDOCのベースを作っていると思われれます。実際には増加要因になっているかどうかというのはまだグレーゾーンです(ppt31)。

難分解性DOCの供給系路についてまとめると、まず下水処理水の影響は、CODへの寄与が0.13mg/L程度ですので、CODのこの20年間の上昇幅0.7mg/Lと比較しても小さく、COD上昇の主要要因とは考えにくいのではないかと。また自然系排水についても、確かに寄与は0.93mg/Lと大きですが、経年的に増加していないということから、これもまたCOD上昇の主要要因とは考えにくい。

それから農業系・工場系排水については、発表の中ではデータは示しませんでした。これは流入量自身が経年的に明らかに減少しており、これもまた主要因とは考えにくいということです。

特に自然系排水につきましては負荷算定の不確定要素が大きという問題点がございまして、今後、算定成分向上によって評価が変わる可能性はないとは言えませんが、トータルで見れば流入負荷の影響は必ずしも主要要因であるとは考えにくいというのが現状です(ppt32)。

ここまでの結果を見ると、難分解性DOCに限っていても流入負荷の影響はそれほど大きなものとは認められない。やはり湖内の要因ではないかということです(ppt33)。

難分解性DOCの供給系路として、一次生産はそもそも琵琶湖でどれぐらいあるのか。実はこれを評価したデータはほとんどありませんが、Yoshimizuら(2002)が野洲川河口の沖合のデータを使って収支計算をしたデータがあります。その計算した例を見ると、流入が184に対して流出が167。一方、湖内の生産が323であり、湖内の一次生産は流入よりもはるかに多いということです。この結果からもやはり湖内の一次生産というものを再度見直す必要があるのではないかと考えられます(ppt34)。

湖内の一次生産を見るにあたり、単にマイクロキスティスによる有機物生産量のトータルだけでは済まないというのが、実はこのデータです。このデータは今井ら(2001)による藍藻類が生産した有機物の生分解性の試験を行った結果です。マイクロキスティスやアナバナは分解率が40%前後ですが、オシラトリアでは80%を超える分解率であり、植物プランクトンの種類により、生産する有機物の質が異なる可能性があります。一次生産による影響を見

るときに、このような影響まで見る必要があるという、非常に大きな難題がのしかかってきているわけです (ppt35)。

琵琶湖で実際に植物プランクトンの種構成が変化しているのかを見てみます。植物プランクトンのバイオマスを  $\mu\text{g C/L}$  という単位で植物プランクトンの綱ごとにまとめています。これは 79 年～81 年の平均になります。過去には緑藻がほとんどを占めていたわけです。ところが最近はその割合が減り、藍藻、褐色鞭毛藻やクリプトモナスが増えてきており、明らかに種の変化が起こっている。バイオマス全体としては減っていますが、種の変化が起こりますので、植物プランクトンが生産した有機物がどうなっているのか、難分解性 DOC に寄与しているのかについては、今後見ていく必要があると考えられます。

もう 1 つは、近年、ピコプランクトンの発生が観測されています。ピコプランクトンのような小さい植物プランクトンは、バイオマスあたりの光合成量は非常に大きくなりますので、バイオマスが少なくても一次生産量は大きくなります。この影響についても見ていく必要があると思います (ppt36)。

底泥からの回帰についてですが、このグラフは底層の溶存酸素の変化を示しています。明らかに減少が見られます。琵琶湖北湖の底層において、湖水の低酸素化の進行に伴う底質の変化による難分解性 DOC の供給増大も当然考える必要があるだろうということです (ppt37)。

今までほとんどの方が全く検討されていないのが湖内での分解過程になります。分解過程になぜ着目するかというと、実は難分解性 DOC とはいっても生物分解しないわけではなく、分解速度が遅いだけで分解はします。微生物分解速度には栄養塩、易分解性有機物等の存在が影響してきます。この難分解性 DOC、COD の微生物分解速度を一度評価する必要があるのではないかと個人的には考えています (ppt38～39)。

これは BOD/COD の乖離のグラフを示したのですが、BOD は明らかに減少しています。BOD が減るとということは微生物の餌が減っている。微生物の餌が減ると微生物の活性は当然落ち、バイオマスも減ります。バイオマスが減っ

て活性が落ちれば、当然分解しにくいものがますます分解されにくくなるわけです。その結果として DOC 成分が残ってきているのではないかとということです (ppt40)。

同じようにこれは、T-N、T-P の変化を示したグラフです。T-P も様々な対策の結果、このように長期にわたって改善傾向にある。これは良いことですが、逆にリンの濃度が低いことで微生物が使えるリンが制限され、微生物の活性が落ちてきている可能性が示唆されます。このような点についても今後考える必要があるのではないかとということです (ppt41)。

最後になりますが、今日の考察の中で考えるべき要因の 1 つは、植物プランクトンの一次生産の影響です。その理由としては、一次生産は流入負荷よりもはるかに大きいということです。また、ピコプランクトンの発生や種の変化ということを考えて、一次生産有機物の量や質の変化が起こっている可能性が非常に高い。この評価を再度行う必要があると思われま

す。次に底泥回帰についてですが、底層の貧酸素化現象をみると、何らかの負荷の変化が起こっている可能性が予想されるので、これについても今後検討を進めていく必要があるだろうと思います。

3 つ目は微生物分解過程の影響です。BOD や T-P の減少、さらには溶存鉄等も影響すると思うのですが、このような影響により微生物活性が変化したのではないかと。その結果、難分解性 DOC がより分解されにくく、すなわち寿命が長くなり、より残存しやすくなってしまったのではないかとということです。

このあたりどれが正しいのか私わかりませんが、今後それぞれの機関で検討を進められ、この BOD/COD 乖離現象に関する問題が一刻も早く要因が解明され、次の適正な湖沼管理につながることを願っています。以上です (ppt42)。



# 琵琶湖のBOD, COD乖離問題に関する一考察

龍谷大学理工学部  
環境ソリューション工学科  
准教授 岸本 直之

龍谷大学理工学部  
環境ソリューション工学科

ppt-1

# CODとは？

(Chemical Oxygen Demand: 化学的酸素要求量)

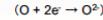
- ある条件下で、水中の物質によって消費される酸化剤(化学薬品)の量を酸素量に換算したものの

必ずしも有機物のみが反応する訳ではない。  
(例)  $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe^{3+} + 3e^-$

酸化剤の種類・条件により、様々な種類がある。  
100℃酸性過マンガン酸カリウム法(COD<sub>Mn</sub>, 日本標準法)  
硫酸酸性ニクロム酸カリウム法(COD<sub>Cr</sub>, 海外標準法: ほぼ全ての有機物を分解)

酸化剤は、物質から電子を奪い、分解する。物質から奪われた電子量(物質の分解量)を酸素量に換算している。

COD 8mgは電子1mmol(6.0×10<sup>23</sup>個)を奪ったことを示している。



龍谷大学理工学部  
環境ソリューション工学科

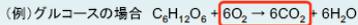
ppt-2

2

# BODとは？

(Biochemical Oxygen Demand: 生物化学的酸素要求量)

- 20℃、5日間に好気性微生物群による代謝分解に伴って消費される溶存酸素量



このとき、酸素原子(O<sub>2</sub>)はCO<sub>2</sub>(O<sup>2-</sup>=C<sup>4+</sup>=O<sup>2-</sup>)となり、炭素原子(C)から2個の電子を奪っている。

つまり、CODと同じ尺度で好気性微生物で代謝分解可能な物質量を測定している。

この条件では生分解性有機物分解率は70%程度であることが多い。目的によって、測定期間が変更されることもあるため、20℃、5日間の場合は「BOD<sub>5</sub>」と表記することが多い。

龍谷大学理工学部  
環境ソリューション工学科

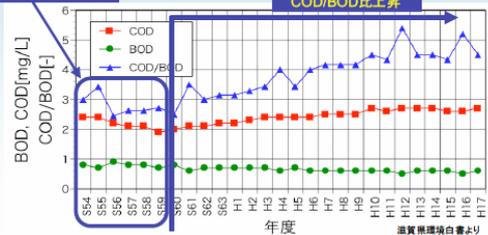
ppt-3

3

# 琵琶湖のBOD, COD乖離現象

琵琶湖富栄養化防止  
条例の施行などの対策  
により順調に改善

BODは引き続き改善  
COD増加  
↓  
COD/BOD比上昇

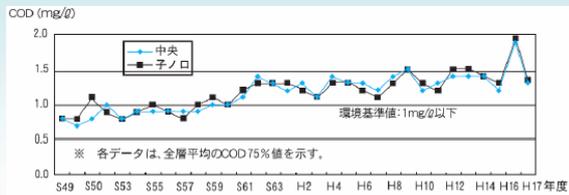


龍谷大学理工学部  
環境ソリューション工学科

ppt-4

4

# 十和田湖のCOD変化



龍谷大学理工学部  
環境ソリューション工学科

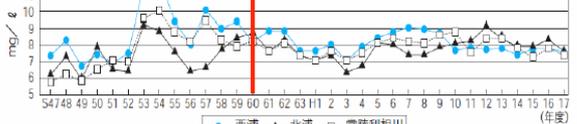
ppt-5

5

# 霞ヶ浦のCOD変化

昭和60年度に湖沼水質保全特別措置法(昭和59年法律第81号)に基づく指定湖沼に指定されて以来、4期20年にわたる霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画の策定

- 下水道の整備や高度処理の推進
- 工場・事業場の排水規制
- 農地における適正施肥の推進
- 湖内湖槽浄化施設(ウェットランド)の整備
- 高度処理型浄化槽の設置促進
- 家畜排せつ物処理施設の整備などの点源対策
- 森林の整備などの面源対策
- 底泥濃濁等の湖内対策



資料: 生活環境部

龍谷大学理工学部  
環境ソリューション工学科

ppt-6

6

## 霞ヶ浦の水質改善停滞要因

1. 不十分な流域対策  
(生活排水対策, 家畜排せつ物対策, 農地・市街地などの面源対策)
  2. 過去に流入した汚濁物質の湖内蓄積(底質回帰)
  3. 難分解性有機物の増加
- などが原因と考えられている。  
(霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画(第5期)より)

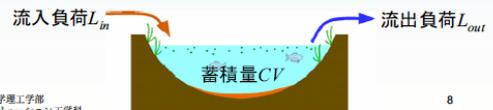
1. は流入負荷削減が不十分であるという認識
2. は底質回帰による湖沼の自浄作用
3. BODとして測定されないがCODとして測定される物質の増加

## 琵琶湖のCOD/BOD比に及ぼす流入負荷の影響(1)

なぜ、流入負荷に着目するのか？

$$V \frac{dC}{dt} = L_{in} - L_{out} + G - D$$

(湖内蓄積量の時間変化)=(流入負荷)-(流出負荷)+(湖内生成)-(湖内分解)

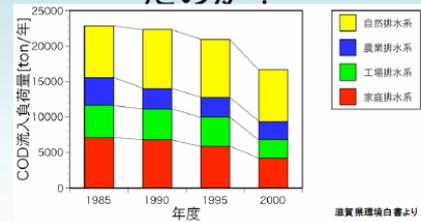


## 琵琶湖のCOD/BOD比に及ぼす流入負荷の影響(2)

### 琵琶湖への流入負荷に関する疑問

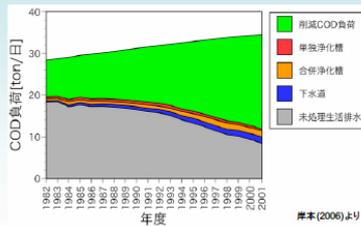
1. 人口増などの要因でCOD総流入負荷が増えたのではないのか？
2. 下水道整備により従来し尿処理していた負荷の一部が流入するようになった？
3. 下水道処理によりBODを除去したため、COD/BOD比が上昇している？

## 琵琶湖のCOD流入負荷は増えたのか？



自然排水系の流入負荷推定の不確かさを考慮しても確実に負荷は減少している

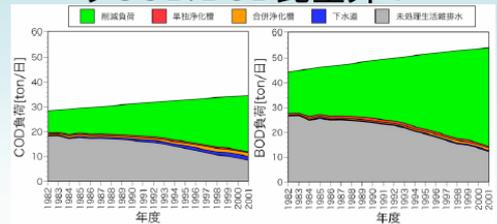
## 下水道整備によるし尿等の負荷の一部流入の影響は？



下水道によるCOD削減効果は大きい。

(2001年度日負荷量は約12ton/日。1985年度比約40%削減。大久保ら(2005)の試算でも同様の評価)

## 下水道処理によるBOD除去によりCOD/BOD比上昇？



家庭排水系の流入COD/BOD比は1985年:0.71→2001年:0.83  
同じ期間に琵琶湖のCOD/BOD比は2.5→4.5に上昇

### 琵琶湖のCOD/BOD比に及ぼす流入負荷の影響(3)

琵琶湖へのCOD流入負荷からはCOD, BOD乖離現象に関する明確な要因は認められない。

$$V \frac{dC}{dt} = L_{in} - L_{out} + G - D$$

湖内に要因があるのか?

(湖内蓄積量の時間変化)=(流入負荷)-(流出負荷)+(湖内生成)-(湖内分解)



ppt-13

### 湖水表層CODの季節別経年変動

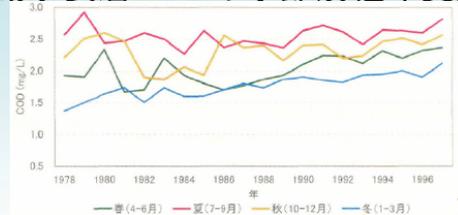


図. 琵琶湖北湖 今津沖中央 水深0.5mにおける季節別COD経年変動

•CODは夏・秋が高く、冬・春が低い

•冬・春においてCOD増加傾向が顕著

ppt-14

### 湖水深層CODの季節別経年変動

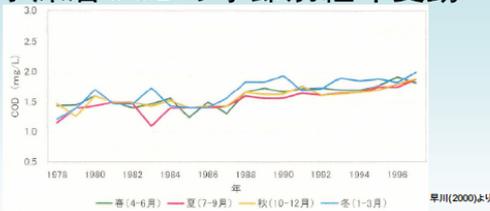


図. 琵琶湖北湖 今津沖中央 水深80mにおける季節別COD経年変動

深層CODは季節によらずCOD増加傾向にある。

ppt-15

### CODとクロロフィルaの関係

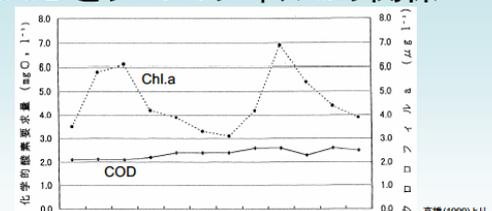


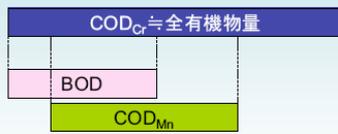
図. 琵琶湖北湖 今津沖中央 有光層でのCODとChl.aの経年変化

CODとChl.aに相関は認められない。

ppt-16

### CODとBODの関係

CODとBODの関係を図示すると以下ようになる。



この部分の割合が増加したのか?

COD<sub>Mn</sub>の測定値には懸濁成分の影響は小さい(松井, 1975)ことから、有機物、特に溶存有機物(DOC)の量と質を考慮する必要がある。

ppt-17

### 溶存有機物(DOC)は増加傾向にあるのか?

表. 今津沖中央での'85年と'97年のDOC(mgC/L)の比較

水深(m)	'85.5.31	'97.5.21	'85.8.7	'97.8.26	'85.12.19	'97.12.2
2.5	1.40	1.23	1.88	1.46	1.51	1.40
10	1.40	1.23	1.65	1.30	1.33	-
20	1.15	-	1.36	-	1.53	1.38
70	1.14	1.00	1.38	1.05	1.24	1.04

(注)'85年は'97年よりフィルター孔径がやや大きい高橋(1999)より

DOCの増加は認められない。

ppt-18

## 琵琶湖におけるDOCの挙動

植物プランクトンの光合成に伴う供給

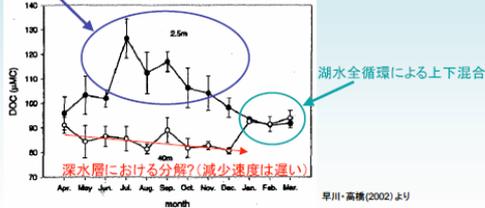


図. 今津沖中央におけるDOCの変動

農谷大学理工学部  
環境ソリューション工学科

微生物難分解性DOCが存在している? 19

ppt-19

## DOCに関する知見 (霞ヶ浦)

-DOC分画-

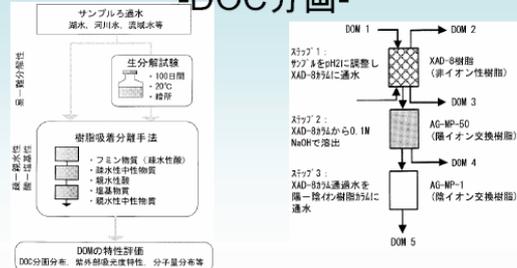


図. 今井ら(2001)によるDOCの分画方法と特性評価手順

農谷大学理工学部  
環境ソリューション工学科

ppt-20

## DOCに関する知見 (霞ヶ浦)

表. 溶存有機物分画手法による有機物の分類

分画名	対応すると考えられる有機化合物
フミン物質 (AHS)	フミン酸+フルボ酸
疎水性中性物質 (HoN)	炭化水素, 農薬, オキソ化合物, 鎖状アルキルスルホン酸エステル(LAS, 洗剤)
親水性酸 (HiA)	糖酸, 脂肪酸, ヒドロキシ酸, オキシ酸, アミノ酸
樹脂物質 (BaS)	芳香族アミン, タンパク質, アミノ酸, アミノ糖
親水性中性物質 (HiN)	オリゴ糖類, 多糖類

今井ら(2001)より

農谷大学理工学部  
環境ソリューション工学科

ppt-21

## DOCの分画分布 (霞ヶ浦)

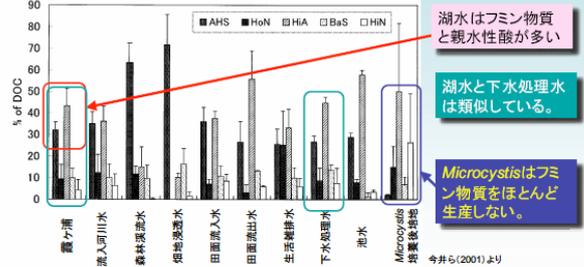


図. 様々な水中のDOC存在形態

農谷大学理工学部  
環境ソリューション工学科

ppt-22

## DOCの生分解性 (霞ヶ浦)

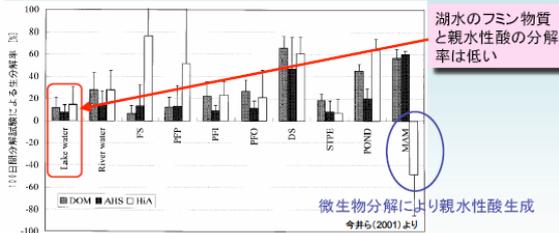


図. 100日間分解試験による分解率

農谷大学理工学部  
環境ソリューション工学科

ppt-23

## DOCに関する知見 (霞ヶ浦)

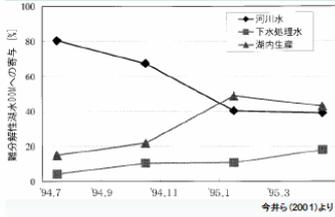
-まとめ-

- 湖水中DOCの大部分はフミン物質と親水性酸から成る。
- フミン酸は難分解性, 親水性酸も比較的難分解
- 植物プランクトン光合成産物は親水性酸が多く, フミン物質は少ない。
- 植物プランクトン光合成産物は易分解性
- 植物プランクトン光合成産物を微生物分解すると親水性酸が生成

農谷大学理工学部  
環境ソリューション工学科

ppt-24

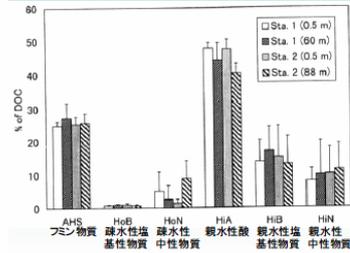
### DOCの起源（霞ヶ浦）



- フミン物質は河川水経由の外來性
- 親水性酸は河川流入と内部生産が同程度
- 冬期には下水処理水の親水性酸への負荷が河川水と同程度

図. 霞ヶ浦湖心における難分解性DOCへの寄与

### DOCの分画分布（琵琶湖）

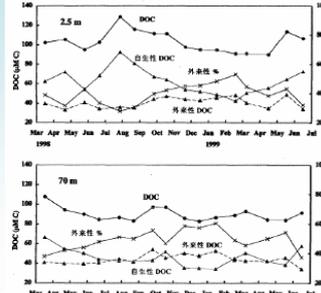


- 琵琶湖水のDOC分画結果もフミン物質と親水性酸がDOCの主要成分であることを示している。
- 琵琶湖のDOCは内部生産性(UV/DOC比より推定)

今井ら(1998)より

図. 琵琶湖北湖のDOC成分分布

### DOCの起源（琵琶湖）



- 表層で40%、深層で50%程度が外來性(腐植物質様蛍光を外來性と仮定)

琵琶湖水のフミン酸は分子量が小さい水成フミン酸であり、外來性が否かについては要検討(早川, 2005)

図. 三次元蛍光分布より推定された琵琶湖北湖DOCの起源

### DOCの生分解性（琵琶湖）

- 琵琶湖表層水の30日間分解試験により5~8%のDOCが消失
- 30日間分解試験により単糖類組成が中深層水と類似に変化

湖水は、微生物分解により、DOCが安定化した状態で存在している。

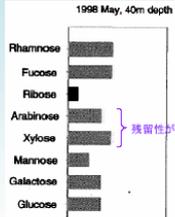


図. 今津沖中央における単糖組成 早川・高橋(2002)より

### 難分解性DOCに関する疑問

- 湖水中DOCはフミン物質と親水性酸が卓越
- フミン物質は難分解性
- 親水性酸は概ね難分解性
- 微生物分解を受けることにより、親水性酸が増加

#### 疑問

1. 難分解性DOC (フミン物質, 親水性酸) は本当に増えているのか? → 情報不足
2. 難分解性DOCの供給経路は?

### 難分解性DOCの供給経路 - 下水処理水の流入負荷 -

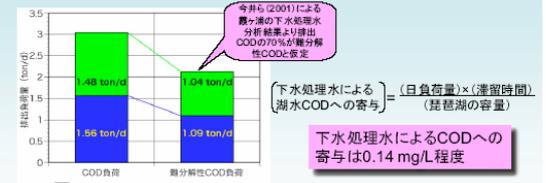
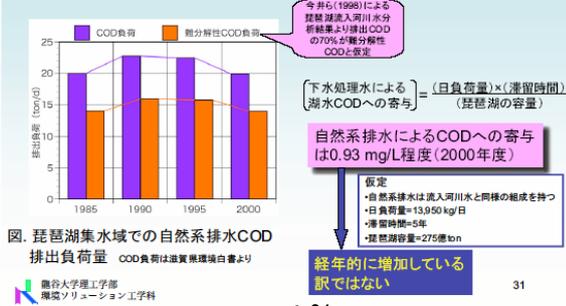


図. 2001年度の琵琶湖集水域での下水処理水のCOD排出負荷量 岸本(2006)と同じ方法で試算

## 難分解性DOCの供給経路 -山林からの流入負荷-



ppt-31

## 難分解性DOCの供給経路 -流入負荷まとめ-

- 下水処理水の影響
  - CODへの寄与は0.13mg/L程度であり、COD上昇幅(0.7mg/L)と比較して小さく、COD上昇の主要因とは考えにくい。
- 自然系排水の影響
  - CODへの寄与は0.93mg/Lと比較的大きいが、経年的に増加している訳ではなく、COD上昇の主要因とは考えにくい。
- 農業系・工場系排水の影響
  - 経年的に減少しており、COD上昇の主要因とは考えにくい。

### 課題

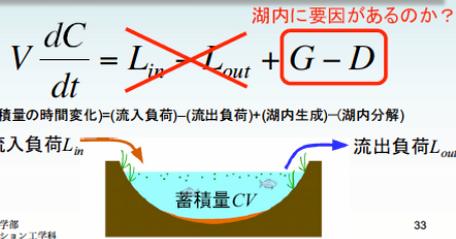
特に自然系排水については、負荷算定の不確定要素が大きいため、今後の負荷算定精度向上によって、評価が変わる可能性がある。

農谷大学理工学部 環境ソリューション工学科

ppt-32

## 難分解性DOCの供給経路 -湖内要因-

琵琶湖への難分解性COD流入負荷からはCOD増加に関する明確な要因は認められない。



農谷大学理工学部 環境ソリューション工学科

ppt-33

## 難分解性DOCの供給経路 -一次生産の大きさ-

表. Yoshimizu et al. (2002)に基づく有機炭素量計算による有機物収支

	流入	流出	生産	分解沈降
	(gC/m <sup>2</sup> /year)			
全有機炭素	184	167	323	340
流出量を100としたときの比率	110	100	193	204

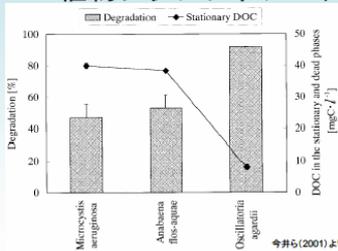
野洲川河口沖合データより計算 早川(2005)より

湖内一次生産は流入よりも大きい

農谷大学理工学部 環境ソリューション工学科

ppt-34

## 難分解性DOCの供給経路 -植物プランクトン一次生産(1)-

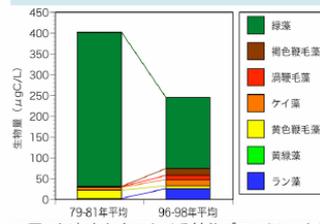


同じラン藻類でも種により生産するDOCの生分解性が大きく異なる。

農谷大学理工学部 環境ソリューション工学科

ppt-35

## 難分解性DOCの供給経路 -植物プランクトン一次生産(2)-



近年のピコプランクトン発生も含め、琵琶湖において植物プランクトン種の変化が顕著

種の変化に伴う一次生産有機物の質・量の変化が難分解性DOCの供給・COD上昇の要因の可能性あり

農谷大学理工学部 環境ソリューション工学科

ppt-36

## 難分解性DOCの供給経路

### -底泥回歸-

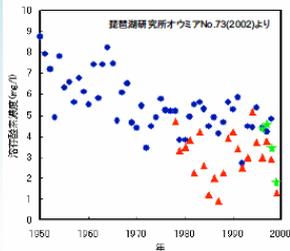


図. 今津沖中央地点の溶存酸素濃度変化  
農谷大学理工学部 環境ソリューション工学科

琵琶湖北湖底層において、湖水の貧酸素化が進行

貧酸素化に伴う底質変化により難分解性DOCの供給増大の可能性

ppt-37

## 難分解性DOCの供給経路

### -分解過程(1)-

湖内での分解過程を検討する必要があるのではないか？

$$V \frac{dC}{dt} = L_{in} - L_{out} + G - D$$

(湖内蓄積量の時間変化)=(流入負荷)-(流出負荷)+(湖内生成)-(湖内分解)



農谷大学理工学部 環境ソリューション工学科

38

ppt-38

## 難分解性DOCの供給過程

### -分解過程(2)-

- 分解過程に着目する理由
  - 難分解性DOCといえども微生物分解しない訳ではない。
  - 微生物分解速度には、栄養塩、易分解性基質の存在が影響

難分解性DOC・難分解性CODの微生物分解速度を評価する必要がある。

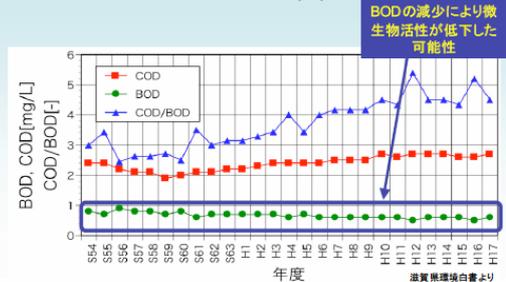
農谷大学理工学部 環境ソリューション工学科

39

ppt-39

## 難分解性DOCの供給過程

### -分解過程(3)-



農谷大学理工学部 環境ソリューション工学科

40

ppt-40

## 難分解性DOCの供給経路

### -分解過程(4)-



図. 琵琶湖北湖のTN, TP濃度の経年変化

農谷大学理工学部 環境ソリューション工学科

41

P濃度の低下により微生物活性が抑制されている可能性

ppt-41

## 難分解性DOCの供給経路

### -湖内要因まとめ-

- 植物プランクトンの一次生産の影響
  - 一次生産による有機物供給は流入負荷より大きい。
  - ピコプランクトン発生も含め、植物プランクトンの種組成の変化に伴う一次生産有機物の質・量変化の可能性
  - Chl.a量などには増加傾向は認められないが、光合成量を評価する必要があるのではないかと。
- 底泥回歸の影響
  - 深層水貧酸素化現象に見られる底質変化により底泥から難分解性DOCが供給されている可能性
- 微生物分解過程の影響
  - BODの減少、TPの減少などにより微生物量や微生物活性が低下し、難分解性DOCの分解速度が低下することにより、難分解性DOCが湖水に残存しやすくなった可能性

農谷大学理工学部 環境ソリューション工学科

42

ppt-42

## 引用・参考文献

1. 青森県 (2007) 平成18年度環境白書
2. 茨城県 (2007) 平成18年度環境白書
3. 茨城県・栃木県・千葉県 (2007) 霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画 (第5期)
4. 今井登朗・徳島武彦・松重一夫・井上隆博・石塚敬昌 (1998) 琵琶湖湖水および流入河川水中の溶解有機物の分離、陸水学雑誌Vol.59, 53-68
5. 今井登朗・松重一夫 (2001) 湖沼において増大する難分解性有機物の発生源と影響評価に関する研究、国立環境研究所特別研究報告SR-36-2001
6. 大久保卓也・東廣広 (2005) 集水域から琵琶湖へ流入する汚濁負荷量とその水質への影響、琵琶湖研究所誌 (所報22号), 55-72
7. 岸本直之 (2005) 琵琶湖のCOD/BOD比に及ぼす植物プランクトンの影響に関する予備的検討、日本陸水学会第70回大会講演要旨集, 178
8. 岸本直之 (2006) 琵琶湖への家庭排水による汚濁負荷量の推定、日本陸水学会第71回大会講演要旨集, 100
9. 滋賀県、環境白書 (各年度版)
10. 滋賀県琵琶湖研究所 (2002) 琵琶湖研究所ニュースオウミアNo.73
11. 高橋幹夫 (1999) 溶解有機物の動態、琵琶湖研究所所報第16号, 49-52
12. 早川和秀 (2000) 北湖のCOD増加と溶解有機物、琵琶湖研究所所報第17号, 36-39
13. 早川和秀・高橋幹夫 (2002) 琵琶湖北湖における溶解有機物の動態とCOD増加をとりまく現状、琵琶湖研究所所報第19号, 42-49
14. 早川和秀 (2005) 琵琶湖の有機物動態、琵琶湖研究所誌 (所報22号), 161-170
15. 松井由美 (1975) 琵琶湖水のCODとその関係点、滋賀県立環境センター所報1, 74-82
16. 吉岡崇仁 (2001) 三次元蛍光測定による溶解有機物の識別、琵琶湖研究所所報第18号, 49-53
17. C. Yoshizumi, J. Urabe, M. Sugiyama, M. Maruo, E. Nakayama, M. Nakarishi (2002) Carbon and phosphorus budgets in the pelagic area of Lake Biwa, the largest lake in Japan. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie Vol.28, 1409-1414

滋谷大学理工学部  
環境ソリューション工学科

43

ppt-43

## 質疑応答 ～基調講演～

### ■司会

琵琶湖の昔の姿を保全目標として考えるということが行われます。その時のBODやCODのデータはありませんが、昔の姿とはどのような状態であったのか、先生のお考えを聞かせていただきたい。



### ■岸本先生

それは非常に難しい問題で、琵琶湖の原風景は何かという話になってきます。様々な年代の方がおられるので、それぞれ琵琶湖と親しんでいる原点が、自分の子供時代であったり、琵琶湖に初めて接した時の風景であったりします。おそらく私が思い描く琵琶湖のイメージと、この会場におられる方々の琵琶湖のイメージは違うと思うのです。だから統一的に、例えば昭和何年の状態が良いとはならないと思います。

湖沼に限らず生態系とは時々刻々変化する非定常のものであり、過去の状態に生態系を戻すということはおそらく不可能だと思います。それは自然の摂理に反していると思います。

ただそれに対して、我々が実際に琵琶湖を利用する時に、単に我々が便利だというだけで琵琶湖をこのようにしましようとするのではなく、我々人間も生態系を成す一部です。生態系の攪乱を少しでも緩和するようなかたちで湖沼管理を進める必要があると思います。

例えばブラックバスやブルーギルは外来種で非常に問題だと思うのですが、学生に聞いてみると、学生は物心が付いた頃にはブラックバスもブルーギルも琵琶湖にいて、釣りができていいじゃないですかと言うわけです。このよ

うに個々の原風景は違うと思うのです。

本当にこうすればいいという画一的な背景というものはなく、琵琶湖に関係する住民の方、漁師の方なり、関連する方々の中でコンセンサスをとりながら、管理をしていくものであり、さらに管理の目標は時代に合わせて変化していくと思います。

### ■会場

湖内の物質量的変化について、1年を通して入ってきた物質が沈降などにより中層や底層に沈み、それが全層循環期に表層に出てきて瀬田川から流出することになると思うのですが、流出する期間というのは全層循環期の短い期間となる。そうすると沈殿した物質は、比較的湖内に溜まりやすい状態になるのではないかと考えられます。このような自然現象によって、CODや特に難分解性の物質が残っているということが考えられないのでしょうか。

2つ目の質問ですが、難分解性DOCの供給系路で底泥回帰のお話の中で、湖底での溶存酸素量が減少しているというお話がありました。しかし、このグラフは見方によっては減少していないともとれるのではないかと気がなりました (ppt37)。



例えば、1970年頃を境に溶存酸素量のレベルが変わっているだけというようにも見受けられるグラフでもあると思います。この時に溶存酸素量の調査方法等が変わったということがあるのかどうか。

また他の水深80mのデータについて、これを見る限りは平行な状態でしかない。確かに最初と最後を見た時には減

少していると言えるかもしれませんが、果たして経年的に減少しているのか。本当に減少しているのであれば、水深の浅い部分にも影響が出ているはずなので、溶存酸素濃度の低いエリアが広がっていったという傾向があるのかどうか。この2点について先生のご意見をお聞かせいただければと思います。

#### ■岸本先生

最初の質問について、全循環期にのみ深層の難分解性有機物が流出し、それ以外は深層に溜まっていくのではないかという話ですが、それはおそらくその通りだと思います。プランクトンの一次生産が起これ、それが沈降し深層に供給されるのですが、その時にもう1つ考えなければならぬことがあります。通常、表層で植物プランクトンが発生しますが、水温躍層では密度差があるので、沈降時に水温躍層で一旦トラップされます。その部分で通常であればほとんど分解します。固形物として深層まで沈降するのはかなり稀なケースだと一般には考えられています。

ところが最近の琵琶湖はそうでもないという話があります。従来であればスタウラスツルムといった大型の緑藻が多かったので、このような緑藻は大きくて重いため、水温躍層を突破して沈降することが十分考えられた。

ところが最近では全般に小型のプランクトンが増えていきます。小型のプランクトンは、水温躍層を突破するほどの沈降力を持たないと考えられます。しかし、沈降による供給があるのではないかという話が一方ではあり、これが何を意味しているのかはわかりません。個人的には、水温躍層の部分では、通常微生物が非常に高濃度で生息し、一次生産有機物である植物プランクトンそのものを分解していくのですが、その作用が弱まっているのではないかという気がしています。

その結果として、沈降した物質が一旦トラップされるが、トラップされている間に分解しきれずそのまま沈降し、深層に有機物が供給される。深層で有機物が分解されれば、そこで難分解性DOCが発生し、難分解性DOCがさらに溜まってくる。このような現象が起こっているのではないかと個人的には考えています。ただ、具体的に裏付けるような

データについては、今のところ信頼できるデータが取れていないので、あくまでも仮説段階になります。

2つ目の底層の溶存酸素の低下現象について、確かにこれを見ていただきますと、青色のプロットが水深80mですが、1980年代以降から横ばいに見えます。

滋賀県で調査をされているのを見ると、貧酸素化の影響がありそうなのは、底からせいぜい10m以内、具体的には数メートルぐらいのところまでだと思います。

では溶存酸素が減少している影響は出ていないのかというと、底生生物、例えばアナンデルヨコエビを見ますと、以前は大量にいたアナンデルヨコエビが激減しているという現象が生物調査結果から観測されています。また、チオブローカといった従来見られなかった生物も出てきています。これらのこと考えると、溶存酸素濃度としてみるとこの最近の10年、20年ぐらいのデータでは傾向としてよくわからないかもしれませんが、生物のデータで見ると、やはりより低酸素状態で棲息する生物に変化しています。これらのことから、深層の貧酸素化の影響は明らかに進行していると考えています。

#### ■会場2

COD/BODの乖離現象は、下水道を整備するほど経年的に大きくなっているのではないかと考えています。下水道が悪さをしているのではないかと。それは下水道により易分解性のものは生物に全て食べられて、その結果、食べられにくい、CODにはかかりやすいものが増えてきているのではないかと考えていました。

また、琵琶湖は非常に大きい湖ですから、湖面蒸発も無視できないと思っており、徐々にいった物質が濃縮される傾向があるなと思っています。塩化物イオンを見ても、濃縮されたのか増加しています。ただし、塩化物イオンは道路で撒かれる量が増加している可能性もあります。

全国的にも下水道を整備され、十和田湖等でも同じ傾向が見られることから、下水道が大きな要因になっているかと思っています。このことについて先生のご意見をお聞かせいただければと思います。



■岸本先生

まず塩化物イオンの上昇は下水道というよりは人為負荷の影響だと思います。1人当たりの塩素の使用量が同じだとすれば、人口の増加に伴い、人口増加分だけ増えることとなります。塩化物イオンは下水処理場でも除去できないため、流域で発生した分が全て流入することとなります。

一方でCODやBODといった有機物は保存性物質ではありません。途中で分解されるという過程が入りますので、そう簡単ではない。保存性物質であれば発生量が増えれば流入量が増加し、流入量が増加すれば濃度が高くなるというのは当然ですが、保存性物質でないためにそこが複雑になっていると思います。

私も以前は下水道の影響が大きいのではないかと考えていたのですが、様々な計算をしてみると、難分解性COD、DOCに限ってみると、どうも寄与度が低い。どの起源からどの程度の難分解性COD、DOCが供給されたかというデータが集まってくれば、もう少し明確なことが言えると思います。

今の段階では、今回の粗い計算で示しましたように、0.13mg/L程度しか寄与していない。逆に言うと下水が全てなくなったとしても0.13mg/L下がるだけなのです。それが0.7mg/Lという増加量に対してどの程度寄与しているか。全く無視できるとは言いませんが、割合としてはかなり低い。0.7mg/L増えたCODを全て下水の影響と言うのはかなり無理があると思います。おそらく下水道よりも大きな要因がどこかにあると思いますが、今の段階でははっきりと答えを申すことができません。

実際には生物の生産量等々と、流入負荷を比較してみますと、湖内の何らかの生物活動が非常に大きな寄与を持っているのではないかと考えています。

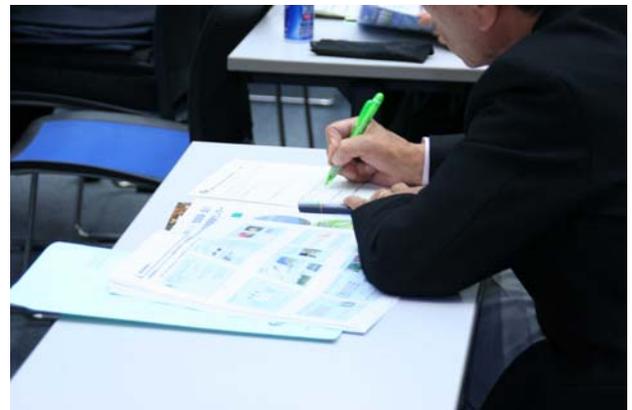
琵琶湖は滞留時間が5年から5.5年程度と言われていま

す。流入してきたBODは、そもそも5日間で分解するものです。このため、流入してきたBODはあまり関係がないのではないかと思います。湖内の微生物により速やかに分解されるため、数日間程度の流入負荷が湖内のBOD値のベースとなっています。これだけを見れば、BODは非常に低い値になるはずですが、実際には琵琶湖の中ではBODがある濃度で観測されている。そのBODはどこから来るかという点、おそらく湖内で生産されると考える以外にありません。

琵琶湖北湖のBODは、今、0.8、0.9mg/L程度と思いますが、そのBODが湖内で平均的に生産されているとするならば、当然CODも生産されているわけです。生産されたCODがどうなるのかというのはまだはっきりとはわかっていませんが、やはりこのようなことが影響していると考えるのが、自然ではないかと個人的には思っています。

■司会

どうもありがとうございました。最後に先生に感謝の意を込めて盛大な拍手を送りたいと思います。どうもありがとうございました。



平成 19 年度

琵琶湖・淀川水質浄化研究所技術研究発表会

開催日：平成 19 年 11 月 12 日

場 所：コラボしが 2 1

主 催：国土交通省近畿地方整備局

滋賀県

独立行政法人水資源機構関西支社

(財)琵琶湖・淀川水質保全機構

編集・発行：(財)琵琶湖・淀川水質保全機構

〒540-6591

大阪市中央区大手前 1 丁目 7 番 31 号 OMM ビル 13F

TEL：(06)6920-3035 (代表)