

琵琶湖と難分解性有機物

琵琶湖の岸边に立って湖を眺めてみたとき、この水はどこから来たのだろうかと思いをめぐらすことはあるでしょうか。この中には、雨として流域に降り注ぎ、森林や田畑、市街地などを經由して流れこんだ水があります。一方で私たちが食事、洗濯や生産活動などをしたときに排出された水も含まれています。これら琵琶湖の外から来た水もあれば、湖内の深いところから表面へと循環してきた水もあるでしょう。

このようなさまざまな流れを経た水は、一見透明で何もなないように見えるかもしれませんが、その中には数多くの物質が含まれています。今回はこの中で、「難分解性有機物」というものに焦点を当て、その正体を探っていきたいと思います。

そもそも有機物ってなに？

「難分解性有機物」という言葉はちょっとわかりにくいので、まず「有機物」についてみてみましょう。「有機物」とは、炭素の原子を含んだ化合物を広く指す用語です。身近なものと言えば、タンパク質やアミノ酸、炭水化物、脂肪などであり、人間を含む生物の構成要素ともなっているのです。

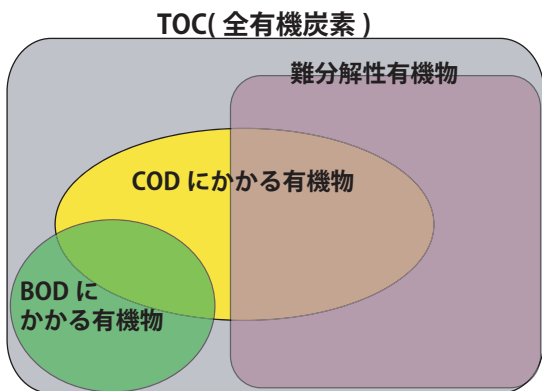


図1 有機物測定各指標と難分解性有機物

有機物はどのように測られている？

水中の有機物を測定する際の指標として、BODやCODをあげることができます。有機物が微生物によって酸化分解されるときに必要な酸素の量を測る指標がBOD、一方で有機物が酸化剤によって化学的に分解される際に必要な酸素量を測るのがCODです。どちらも値が高いほど水に含まれる有機物量が多いことを示します(図1)。

一方でTOCという指標も使われるようになってきました。BODやCODが有機物の分解に使われる酸素の量で有機物量を間接的に測定するのに対して、TOCは有機物に含まれる炭素を全て酸化させて、二酸化炭素量として測定することで有機物量を精度よく計測することができます(図1)。

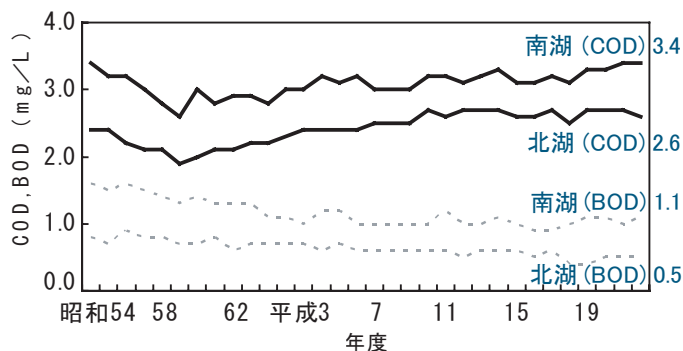


図2 琵琶湖におけるBODとCODの経年変化

BODとCODの値が離れていっている？

昭和40年代から50年代にかけての琵琶湖は、大規模な淡水赤潮が見られるようになったり、水道水からカビ臭がするといったことが起こりました。このような状況の中で住民・企業・行政が一丸となって改善に取り組んできた結果、琵琶湖のりん濃度は減少し、富栄養化に対して一定の成果をあげてきました。これらの結果として、BODの値は昭和50年代から平成元年にかけて減少し、その後横ばいで推移しています。しかしここでCODに目を向けると、昭和54年から59年までは減少が続いたものの、その後は緩やかに上昇し、平成11年頃から横ばいに転じる傾向が見られています(図2)。

その要因として、微生物が分解しやすくBODとして測定される有機物は減少しているものの、微生物によって分解されにくい有機物(指標としてはCODとして測定されます)、すなわち「難分解性有機物」の存在が指摘されています(図1)。

難分解性有機物とは一体どのようなものなのでしょうか?その変化は、水質や生態系、私たちの暮らしにとって、どのような意味を持つのでしょうか?これらについては、次のページでみていきましょう。

1 難分解性有機物っていったい何もの？

滋賀県では、難分解性有機物を「微生物によって100日間分解させた後に残る有機物」(この実験のことを「生分解試験」といいます)と定義しています。これは、琵琶湖水の生分解試験を行うと、有機物濃度が概ね100日で一定になることによるものです。つまり、100日経っても分解しない有機物は、その後も非常に分解しづらいということで、これを難分解性有機物とよんでいます(逆に100日の間に分解される有機物のことを易分解性有機物とよんでいます)。

では、難分解性有機物とは具体的にどのような物質なのでしょう？これまでの研究から、琵琶湖ではフミン物質(主に植物が腐食してできた化合物)や親水性の酸(脂肪酸、乳酸など)が多いことが分かっています。しかし、その物質の種類は非常に多いことから、全ての化学組成を同定することは不可能といってよいでしょう。

2 琵琶湖にはどれくらいあるの？

これまで琵琶湖の複数の地点・季節・深さにおいて湖水を採取し、生分解試験を実施してきました。その結果、琵琶湖では多くの時期・場所で、難分解性有機物は1mg/L程度で安定的に存在していることが分かってきました(図1)。琵琶湖の容量が約275億tなので、湖内には約27,500tの難分解性有機物が存在することになります。またその約9割が溶解態、つまり水に溶けている物質であることも分かってきました。

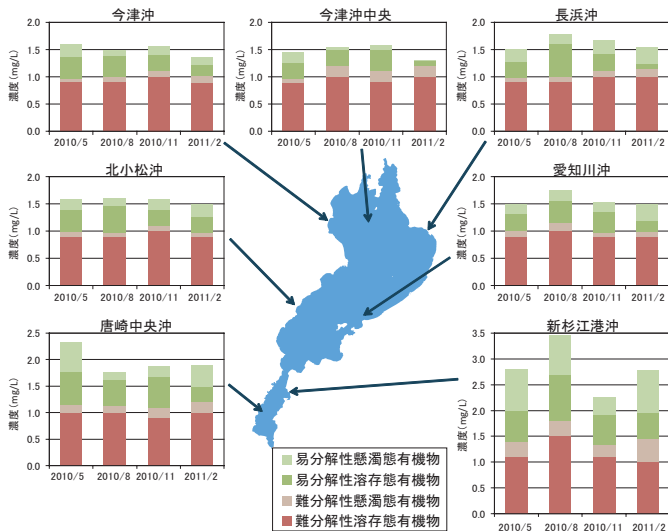


図1 琵琶湖における有機物の濃度

3 どこから来ているの？

難分解性有機物は陸域からも流入しますが、湖内でも生産されます。植物プランクトンは光合成をすることで、炭素を体内に取り込んで成長します(これを「一次生産」とよびます)。植物プランクトンは動物プランクトンに、動物プランクトンは魚などに食べられます。それらの排泄物や遺骸は微生物に分解されますが、中にはほとんど分解されないものもあり、それが難分解性有機物として残ることになります。では、琵琶湖の難分解性有機物は、どこからどの程度来ているのでしょうか。

陸域では、下水処理場や浄化槽、事業場、水田、宅地、道路、森林など多種多様な発生源における難分解性有機物の調査を実施してきました。その結果、陸域からは年間概ね6,000tの難分解性有機物が流入し、そのうち約3割が生活排水や事業場排水などのいわゆる「点源」由来、約7割が水田や森林などのいわゆる「面源」由来であることが分かってきました。

また湖内では、前述の湖水の生分解試験のほか、植物プランクトンの一次生産量や難分解性有機物への寄与についても調査を行ってきました。それらを踏まえて琵琶湖流域全体の水・物質循環(有機物・窒素・りんなど)のシミュレーションをしたところ、湖内由来では年間概ね15,000tの難分解性有機物が生産されているという結果になりました(図2)。

陸域から6,000t、湖内から15,000tということは、琵琶湖の難分解性有機物は陸域由来が約3割、湖内由来が約7割であることを意味し、琵琶湖の難分解性有機物の循環には湖内由来のものが大きな影響を与えていることが示唆されます。

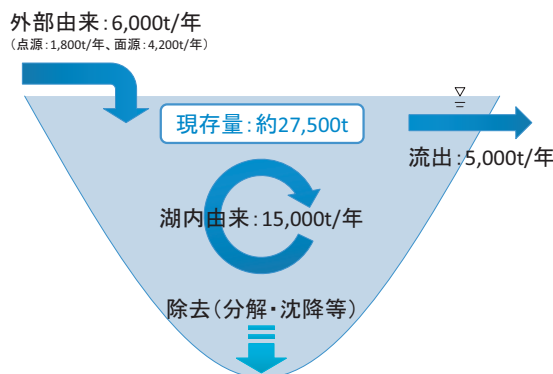


図2 湖内における難分解性有機物の収支(2000年~08年の概算)

4 どうして増えたの？

トピックスでも触れていますが、BOD と COD の経年変化に乖離（かいり）がみられたことから、難分解性有機物の増加が疑われていますが、一体その原因は何なのでしょう。これには、主に以下 3 つの仮説が考えられます。①陸域から流入する難分解性有機物が増加してきた、②湖内で生産される難分解性有機物が増加してきた、③降水量が減少したり蒸発量が増えることで難分解性有機物が濃縮されてきた、というものです。

まず①について、陸域由来の流入負荷量の経年変化を見ます。この 25 年間で易分解性有機物は大きく減少しており、難分解性有機物も増加はしていません（図 3）。このことから、陸域由来の難分解性有機物が原因で湖内の難分解性有機物が増加したとはいえないと考えられます。

続いて③については、降水量の変化をみてみると、長期間観測の行われている彦根地方気象台のデータでは 1960 年頃から降水量の減少傾向がみられます。また気温も 1970 年代から上昇傾向にあり、湖面からの蒸発量が増加していると考えられます。これらの量を見積もり、難分解性有機物の濃度に与える影響を計算したところ、1985 年頃から 2000 年代までに数%～1 割程度の増加にとどまることが分かりました。この間、COD の濃度は 2mg/L から 2.7mg/L 程度にまで増加していますから、湖水の濃縮だけでは COD の増加を説明できません。

以上より、湖内の難分解性有機物は、主に②の湖内由来が原因で増加してきた可能性が高いと考えられます。実際琵琶湖では、近年湖内の状況が大きく変わっていることが観測されています。例えば、1980 年代末頃から琵琶湖で見られる植物プランクトンの種類が変化してきており、緑藻が減少し、藍藻が増加しています。これらは同じ植物プランクトンでも、有機物の組成や生産する速度などが異なります。しかし、そのことがどの程度難分解性有機物の濃度上昇に寄与するかは分かっていません。COD が上昇に転じた時期と植物プランクトンの種類が変化し始めた時期も必ずしも一致しません。植物プランクトンが原因ではなく、有機物を分解する微生物の活動が衰えてきたのではないかという説もあります。

つまりこれまでの研究では、琵琶湖における難分解性有機物の増加は湖内由来によるものが有力視されるのですが、湖内の何が原因かまではよく分かっていないのです。

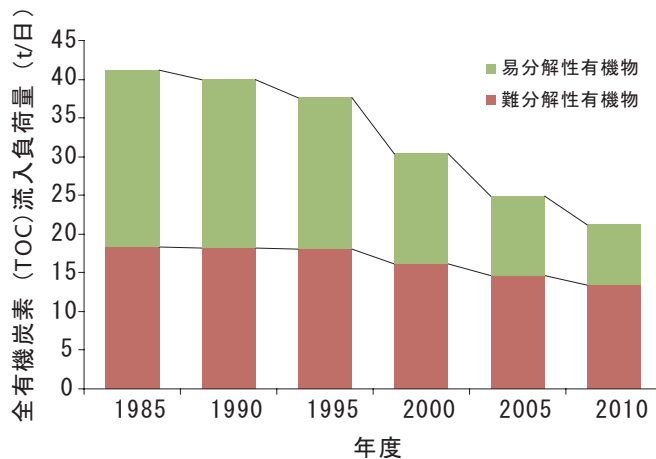


図 3 易分解性有機物と難分解性有機物の流入負荷量の変化

5 “悪い” ものなの？

最後に、難分解性有機物が琵琶湖の生態系や私たちの暮らしにどのような影響を与えるのかを考えてみます。

まず、浄水の塩素処理過程で発がん性物質であるトリハロメタンを生成することが知られています。しかし今のところ、琵琶湖を水源とする浄水場では、健康に影響の出るような濃度のトリハロメタンは検出されていません。植物プランクトンの成長に必要な鉄と結びついたり、あるいは湖内の有機物の質が変化することで、生態系に影響を与える可能性もありますが、具体的なことはよく分かっていません。微生物に分解されにくいということは、湖内で酸素を消費しないということを意味するので、現状では特段悪影響は与えていないのではないかという考え方もあります。

そこで、生態系に対する影響をトータルに把握する手法として、「バイオアッセイ」が試みられています。これは簡単にいうと、琵琶湖に存在する難分解性有機物を濃縮した水にプランクトンなどの生物を入れて、生長や遊泳に阻害が出るかどうかを確かめる方法です。これでもし何らかの影響が出るようなら「難分解性有機物はできるだけ減らした方がよい」ということになります。

これらの結果が出るまでは、難分解性有機物の状況をしっかりとモニタリングしつつ、それが少なくとも増えないように、今後も継続して有機物対策に取り組むことが求められます。

総合解析部門 佐藤祐一
環境監視部門 岡本高弘

びわ湖 視点 論 点

「琵琶湖はきれいになったの？」

「琵琶湖の水質はよくなった」という話を、滋賀県の発表や報道で聞かれた方も多いいと思います。みなさんは実際に琵琶湖をごらんになって、どんな印象を持たれるでしょうか。「確かにきれいになってきた」という人もいます。一方で、「本当に琵琶湖がきれいになっているの？」と疑問を持たれる方も多いいのではないかと思います。

「昔は手ですくって飲めた」との話もよくうかがいます。

この違いはどこから生まれるのでしょうか？双方の話をよく聞くと、「いつ、どこ、何について」言っているのが人によってまちまちで、それが原因で感じ方が異なっているということが多くあります。

「いつ」～どの時期の琵琶湖と比べるのか？

琵琶湖の水質調査は、滋賀県と国などが協力して 49 地点で毎月実施しています。この調査は 1979 年より実施されており、観測開始当初と比較すると現在は透明度や全窒素、全りんといった水質項目がよくなっています。1979 年は、赤潮の発生日数が最も多かったときで、その頃と比べれば「水質はよくなった」ということができるでしょう。一方、データは限られますが、高度成長期前（昭和 30 年頃）の「南湖で泳げた」、「手ですくって飲めた」といわれる水質と比べれば、現状でも「汚くなった」と感じるのだと思います。このように、琵琶湖の「きれいさ」は、どの年代と比べるかによって大きく異なります。

また、琵琶湖の「きれいさ」は、季節によっても様々です。春には水田の代かきによる濁水が琵琶湖に流れこむこともあり、人が琵琶湖に集まる夏から秋には、湖辺部で発生したアオコや打ち寄せられた水草が、景観を悪化させ異臭を放つこともあります。冬には、コハクチョウたちが飛来する光景がみられる一方、湖岸に強く打ち寄せる波で水が濁るときもあります。

ですから、どの時期の琵琶湖と比べるのかをはっきりさせて、話をすることが大切であると感じています。

「どこ」～琵琶湖のどの場所、どの部分を比べるのか？

一言で「琵琶湖」といっても、北湖と南湖、あるいは場所によって水質の状況や傾向は大きく異なります。全窒素、全りんなどの琵琶湖の水質は、平均的に見れば、下水道の整備や工場排水の規制などの効果によりこの 30 年間で改善しています。一方、赤野井湾など一部の水域においては、目立った水質改善がみら

れていません。

また、琵琶湖の沿岸帯における水質調査地点は北湖では湖岸から 500m 沖、南湖では 100m 沖と定められています。これは、河川からの流入水と湖水とが均一に混じり合った地点の水質を調査するためです。しかし、人が普段目にするのは湖岸付近の水で、何百 m も先の水ではありません。湖岸付近の水は定期的な調査がほとんどされておらず、全体的な傾向はよく分かっていません。琵琶湖の水質調査の結果と、私たちが実際に湖岸付近で受ける琵琶湖の印象とが必ずしも一致しない原因の一つがここにあります。

「何について」～何を見て「きれい」と言っているのか？

琵琶湖は私たちの飲料水のみならず、漁業、農業・工業用水、湖水浴、釣り、観光など様々な場面で私たちの暮らしと関わっています。そうすると、何を見て「きれい」と言っているのかは、人によって異なってくると考えられます。

例えば、現在調査している水質項目で見ても、透明度や全窒素、全りんなど改善傾向にある項目と、COD のようにそうではない項目とがあり、このうち何を見ているかによって「きれい」かどうかの判断も異なります。

さらに、人は水だけを見て「きれい」「きたない」といった印象を持つわけではありません。湖岸には水草とともに、ペットボトルやビニール袋などさまざまなゴミが集まり、とくに台風の後などは山のように打ち上げられてきます。広大なヨシ原や内湖といった湖岸景観が失われ、人工湖岸や高層建造物も増えてきています。外来魚が増えて在来魚がほとんどなくなった、エリ網への付着物が増えて大変になっている、湖岸の石がねばねばして泳ぎたいと思えない、といったことも琵琶湖の印象に大きく影響するでしょう。

現在「びわ湖の日」となっている 7 月 1 日は、昭和 56 年に「よみがえれ碧いびわ湖の日」として制定されました。昭和 45 年に琵琶湖の漁師さんが行った湖内の一斉清掃に端を発する「びわ湖清掃の日」がその起源です。「びわ湖の日」が制定されてから 30 年の間、琵琶湖をきれいにしようと、皆が努力してきました。今、その原点に立ち返ったとき、「琵琶湖がきれいになるとは一体どんな状態を指すのだろうか？」ということについて、人それぞれの関わり方や感じ方によって判断基準が違うということをお互いに理解しながら、琵琶湖の将来を語り合っていくことが求められているのではないのでしょうか。

環境監視部門 奥村 陽子



■ 編集・発行

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター
Lake Biwa Environmental Research Institute

〒520-0022 滋賀県大津市柳が崎 5-34 TEL : 077-526-4800 / FAX : 077-526-4803 / E-mail : info@lberi.jp / URL : http://www.lberi.jp

センターニュースのバックナンバーは下記のアドレスからご覧いただけます。
<http://www.lberi.jp/root/jp/31kankou/bkjhindex.htm>