

生物に起因する河川の景観悪化現象 ～その原因は油や塗料ではありません～

水環境担当 池田和弘

1 はじめに

油や着色水の流下は、河川の景観を著しく悪化させ、河川への親しみを奪います。また、時には有機汚濁を引き起こしたり、有害物質を含んだりして、生態系や人の健康を害する可能性があります。県内では水質事故が毎年 200 件程度報告され、平成 25 年度には油の流出は 116 件、着色水・濁水の流出は 35 件ありました。油や着色水の原因は工場や工事から排出されるなど人為活動起源であることもありますが、そうでないケースもあります。油膜のように見えて油ではない、着色していても塗料のような化学物質は含まれていない、実はこうした現象を引き起こした犯人は生物だったという事例があります。本発表では、このような生物に起因する河川の景観悪化現象と、その発生機構、そして環境影響について検討を行った結果をご紹介します。

2 油膜のように見えて油でない現象

2.1 現象の紹介

川辺や湿地を散策したとき、油が無さそうな場所で油膜のようなものを発見することがありませんか（図1）。周囲を見ると水底に赤いマット状の物質が見えたり、水が流入している周辺が赤く染まっているのが見えたりします。このようなとき、ほとんどの場合、その正体は油ではなく、鉄の化合物による膜（以下、鉄の被膜と記す）です。赤っぽく見えているのは酸化鉄の沈殿です。油と鉄の被膜の見分け方は、まず臭いを嗅ぐことです。油の臭いがしない場合は鉄の被膜の可能性もあります。次に、棒でつついたりしたとき、割れてしばらくそのままの場合は鉄による現象、直ぐに元の被膜を形成すれば油の可能性が大きいと言えます。また、採取して容器などに入れて振ったとき、被膜が消えて沈殿ができれば鉄であると判断できるという見分け方もあります。



図1 油膜のように見える鉄の被膜

鉄は、水中では酸化数の異なる2価と3価で存在します。酸素が十分溶け込んでいる条件では3価で、地下水のように酸素の少ない還元的な雰囲気では2価で存在します。鉄の被膜は地下水をくみ上げて田圃に供給した直後の場所でもよく見られます。地下水がくみ上げられると空気と接して溶存酸素が増えることにより鉄が酸化され3価となります。このとき、3価となった鉄が水面に集まれば被膜が形成され、大量に生成して沈殿すればマットのようになります。鉄を多く含む水を「かなげ水」と言いますが、埼玉県でもいくつかの地域で見られるようです。鉄の酸化は化学的にも進行しますが、微生物が関与するとその速度は著しく上がります。関与する微生物は鉄酸化細菌であり、鉄バクテリアとも呼ばれます。桿状あるいは糸状性の細菌が知られています。この微生物によって作られる被膜

をバイオフィームといいます。被膜を形成する鉄の化学的形態は、シュベルトマナイト $\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_6\text{SO}_4$ であるとの報告¹⁾などがあります。

2. 2 異常水質事故としての対応例

鉄濃度が非常に高く、しっかりとした被膜が形成され、近くに赤いマットが存在すれば、油膜のように見えるものは、鉄の被膜であると比較的容易に判断できます。しかし、ときとして薄い白色の膜のようなものしか見えないときがあります。このような時は前述した目視等による簡易な判別方法だけでは原因判断は困難であり、化学分析が必要となります。次に、県内のある池で油膜のようなものがみられた事例について紹介します。

池の表面の薄い膜状のものを回収して鉄濃度を測定することにしました。比較のため、池の中層からも採水し分析を行いました。表面に浮いている物質を選択的に採取するのは想像以上に困難です。われわれはガラス板を用いた手法を採用しています(図2)。ガラス板を立てて水面に垂直に挿入し、ゆっくり上方に引き上げます。するとガラス面に水面付近の水が付着するため、これを掻き取れば表層の水に浮かぶ膜を捕集できます。こうして採取したものを分析した結果、表面付近の鉄濃度は10 mg/Lであり、中層の濃度(0.09 mg/L)と比較しても極めて高濃度でした。したがって、鉄が水面付近に集まり被膜を形成していることが分かり、原因の解明に至りました。池の周辺で水が湧いているところに赤い沈殿があったという、現場の周辺状況も判断の材料になりました。



図2 表面の水の採取方法
写真は藻類調査時の例

ところで、鉄の被膜はどのような構造なのでしょう。前述したように3価の鉄で構成されているのでしょうか。我々はこの分野であまり使われていない高度な分析法で検証してみました。鉄の被膜を採取し、硝酸セルロースろ紙上に回収します。これをX線吸収微細構造(XAFS)法で分析し、鉄の化学形態を解析しました。すると、被膜は3価の鉄の酸化物 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ が37%、2価と3価の鉄の酸化物 Fe_3O_4 が63%という混合物であり、2価の鉄も混じっていることが分かりました。鉄被膜は自然環境下で生物学的および物理化学的に生成・熟成されているものなので、生物種、温度、できてからの時間など、状況によって被膜中の鉄の形態は異なってくると考えられます。

2. 3 問題点と対処

酸化鉄の被膜は河川の景観を悪化させるものの、それ以外の被害報告はありません。造成地では鉄を高濃度に含む地下水が湧く場合があり、みなさんを驚かすこともあるかと思います。被膜を生じさせないためには、水中の鉄濃度を減少させる処理が考えられます。浄水の分野では「かなげ水」を原水とする場合は、水道水の色などが問題となるため、化学的または生物学的な処理が行われます(除鉄)。鉱山廃水が鉄を大量に含む場合は、河川水を着色させたり、農地に蓄積して植物の成長に悪影響を及ぼしたりする可能性があるため、曝気および凝集沈殿などの処理が行われます²⁾(赤水処理)。いずれにしても、溶けている鉄を酸化鉄の形で固体にして取り除く方法ですので、定期的に固体を廃棄物として除去・処分する必要があります。湧水や池沼・河川水に適用するのは容易ではありません。

3 着色していても塗料のような化学物質は含まれない現象

3.1 現象の紹介

平成22年の夏は晴天が続き、8月は記録的な高温となり、30年に一度の猛暑でした。このとき、河川水が赤色、オレンジ色、黄色に染まるという着色による異常水質事故の通報が相次ぎました（図3）。河川の着色では一般的には塗料や染料が原因と疑われます。最初の通報は赤色の河川でしたが、現場を調査すると、確かに河川が数100mに渡り赤く染まっていました。



図3 赤色（左図）オレンジ色（中図）黄色（右図）に着色した河川

見ると表面付近に何かが浮いており、これが色を持つようでした。そこで、採水した試料を持ち帰り顕微鏡観察を行ったところ、大きさが約0.1mmの多数の緑色の球体が見え、中に赤色の塊が観察されました（図4）。球体でなく、紡錘形や楕円形のものあり、それらは動いています。これは、ミドリムシの一種でユーグレナ・サングイネア³⁾（以下、ユーグレナと記す）という微生物でした。ミドリムシは鞭毛運動するので動物的でありながら、葉緑体を持ち光合成を行うため植物的でもあります。また、光合成により内部で有機物を生産しつつ、外部から有機物を捕食・吸収することもある面白い微生物です。

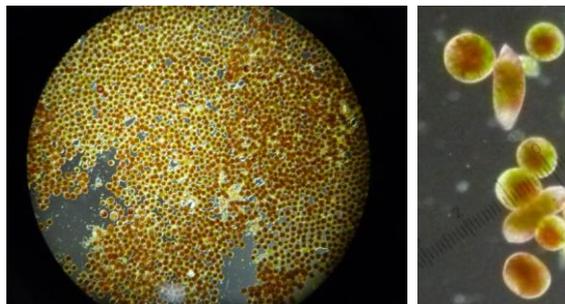


図4 赤色の河川水の顕微鏡写真

ミドリムシは、その名の通り多くは葉緑素由来の緑色ですが、ユーグレナは葉緑素のほかにヘマトクロームという赤い色素をもっていて、細胞内の色素の分布によって鮮やかな赤色になったり、緑色を帯びたりします。環境条件が悪化したときには、粘液質の厚い鞘でおおわれて一時的な休眠状態の細胞（シスト）となります。図4の写真右の球体がシストです。大量発生すると、赤い“水の華”と呼ばれる現象を引き起こします。また水面に赤い膜を生じさせることもあるので、アカマクミドリムシとも呼ばれます。その後、通報のあった黄色やオレンジ色の河川でもユーグレナが観察され、このときの着色現象は化学物質が原因でなく、生物に起因する現象であることが分かりました。

3.2 発生機構と対処

ユーグレナによる着色現象は田圃や池沼ではよく観察されることがありますが、河川でこれほど大規模に発生した事例はこれまで報告がありません。何が原因なのでしょう。晴天が続き、水温が高いことが増殖に好条件であったのは間違いのないと思われます。また、河川の流量が少なく、水利用の観点から堰を設置した結果、水が滞留し、淀んで池の様になったことも原因と思われます。さらに重要と考えられるのは、河川の栄養塩濃度が高いことです。ユーグレナは高い栄養塩濃度を好み、有機汚染があってもよく増殖します。図5に埼玉県内河川の栄養塩濃度（ここではリン濃度）を示します。

河川のリン濃度は $100 \mu\text{g/L}$ を超える地点が多数あります。これは、湖沼の富栄養度でいえば、過栄養に分類される濃度です。つまり、これらの河川の水が湖沼のようによどめば、ユーグレナをはじめ植物プランクトンの大発生が起きる可能性がありますと考えられます。アオコの発生も懸念されます。ユーグレナなど植物プランクトンによる着色現象を防ぐには河川の栄養塩管理が重要と考えられます。

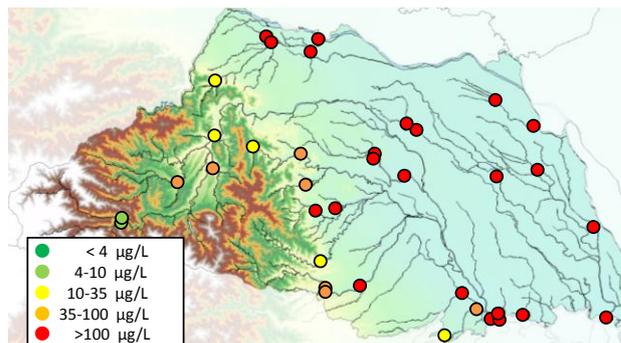


図5 県内河川水のリン濃度

3.3 問題点

ユーグレナの大発生は、河川景観を悪化させるだけでなく、水環境に悪影響を及ぼす可能性があります。これらは有機汚濁源となり、環境基準である BOD 値を高めるだけでなく、細胞が死ぬと分解され、溶存酸素を消費し、河川環境を悪化させます。実際、平成 22 年度には現場で魚の斃死が観察され、溶存酸素不足が死因と疑われたこともありました。図6に我々が行った、ユーグレナの分解実験の結果を示します。

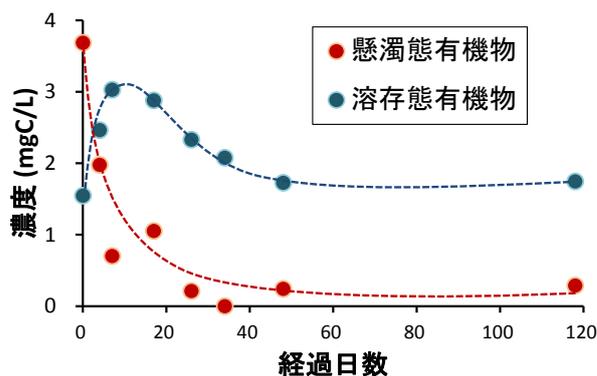


図6 ユーグレナ・サンガイネアの分解実験

懸濁態有機物とは、この場合、ユーグレナの体そのものです。急速に分解されることが分かります。このとき、河川水中の酸素を消費します。一方、溶存態有機物は一度急速に上昇しています。つまり、ユーグレナが分解し、新しい有機物が生産されたことが分かります。溶存態有機物はその後減少しますが、120日たっても開始時よりも高濃度となっています。つまり、生成した新しい有機物の一部は極めて難分解であることが分かります。ユーグレナから生成する有機物の特徴や環境影響は十分には分かっていないため、今後の説明が必要です。

4 おわりに

この発表では生物に起因する景観悪化現象として、鉄バクテリアの関与する油膜に見える現象、ユーグレナによる着色現象についてご紹介しました。両現象とも直接的な原因は生物活動です。しかし、前者は水源域の土地改変などの土地などの開発を起因とする場合があり、後者は生活排水などに含まれる栄養塩の流入を起因とする可能性が高く、いずれも人間活動が反映されたものと考えられます。人間は、意図することなく、また、気づくこともなく微生物を含む生態系に影響を与えており、逆に生物がそれを我々に異常現象として教えてくれているのでしょう。われわれ人間と微生物は共生していることをしっかりと考えていくことが大切だと思います。

文献

- 1) 佐々木直哉, 田崎和江: 生体鉱物化作用によりバイオフィルムに形成した schwertmannite, 地質学雑誌, Vol.107, No.10, 659-666, 2001.
- 2) 古賀久弘: 閉山炭鉱の坑内水(赤水)処理と沈殿物の有効利用について, 日本鉱業会誌, Vol.94, 641-645, 1978.
- 3) 滋賀の理科教材研究委員会: やさしい日本の淡水プランクトン 図解ハンドブック, p.38. 2005.