

川にはどれだけ家庭排水が流れているか — 蛍光増白剤の計測と汚濁解析 —

水環境担当 高橋 基之

1 はじめに

埼玉県には159の一級河川があり、その他の準用河川や普通河川を含めた河川の面積は、県土全体の3.9%を占め、その割合は全国一になります。皆さんは、身近な川の環境や流れる水について、普段どのように感じているでしょうか。昔から同じ川を眺めてきた方々は、いろいろな想いがあると思います。子供の頃に泳いだ川、魚釣りをした川、危険で近寄りにくい川などなど、人それぞれの原風景の記憶もあるはずで、昭和期に活躍した河川工学者の安藝皎一^{あきこういち}は、河川を絶えず変化しつつある有機体と考え、あるがままの姿を“河相”^{かそう}と表しています¹⁾。

流域の人々と関わりのあった河相は、昭和30年代の高度経済成長期から急激に変わりました。産業活動が盛んになり生活が豊かになったことと引き換えに、清らかな川はドブ川へと変容していったのです。県内でも、南東部の河川は特に水質汚濁が激しく、毎月の公共用水域調査において、汚濁の指標であるBOD値が年平均で100mg/Lを超えてしまう地点もありました。まさに公害の時代です。埼玉県はその後も都市化が進み、図1のように人口は増加の一途をたどります。それとは逆に、河川の汚濁は次第に改善されてきました。かつて、残念ながら全国一汚い川として有名になってしまった不老川も、現在では、BOD値は約10mg/Lです。綾瀬川の内匠橋では、昭和50年頃にBOD値50mg/L前後であったものが、1/10の5mg/L程度にまで低減しています。

ところで、川を流れている水の量はどうか。上流にダムが開発されたことで、年間を通じた流量の変動は小さくなっています。一方、流域の人口が増えれば、上水道の河川依存率は高くなり、家庭から河川に流れ出る水量も増加します。つまり、埼玉県のように都市化が進んだ地域の川には、人々が一度使用した水が多く含まれている可能性があります。しかし、一般に河川で測定されている

水質項目では、川に家庭からの排水がどれくらい流れ込んでいるか判断できません。下水道等が整備された今日、きれいになった川にも、私たちが一度使った水が多く流れているのです。

今回は、従来の水質モニタリングではわからなかった川の中に占める家庭排水の量について、蛍光増白剤という化学物質を指標に把握する方法を紹介します。そして、県内河川の汚濁の現状について、計測結果などから考えてみます。

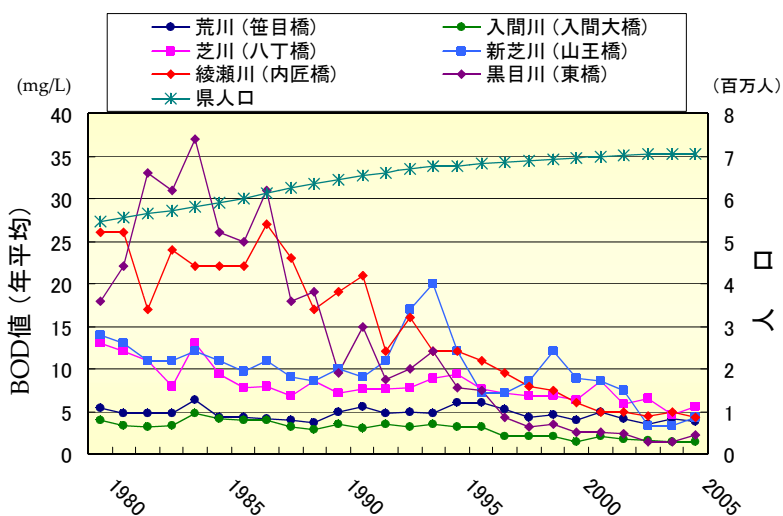


図1 公共用水域のBOD値と人口の推移

2 家庭排水と蛍光増白剤

いつも家で洗濯をしている人なら、蛍光増白剤という名前に憶えがあるかもしれません。家庭用の洗濯洗剤の中に極少量含まれる合成化学品で、洗濯のときに衣類に付着するものです。特徴として、太陽光の中の人には色がわからない紫外線を吸収して、青白い光りを放出する働きがあります。このような現象を蛍光と言います。その効果で、洗濯ものは白く綺麗に見えます。テレビCMで“洗濯の後、輝くように真っ白”とPRしていますが、その輝きも同じことかもしれません。汚れを落とすという洗濯本来の目的とは別の働きを持ったものです。多くの洗濯洗剤に含まれていますが、最近の洗剤には、含んでいないことを“無蛍光”とわかりやすく表記している商品もあります。

蛍光増白剤は、紙、繊維、プラスチック類の製造に使用され、多くの種類が流通しています。洗濯洗剤に含まれているのは、主にDSBP^{註1)}という種類の化学物質で、水に溶けやすく、繊維に付着して非常に強い蛍光を発する性質があります。衣類に付く以外は、排水と一緒に水環境中に多く出ていきます。下水処理の過程で濃度は約半分に減少しますが、微生物で分解しないことが知られています。

このように、DSBPは家庭排水に特有の物質であり、水環境に出てから分解などによる変化が少ないという特徴を持っていることから、家庭からの排水の混入を判断するのに適した物質といえます。写真は、家庭排水が混入していない荒川上流の河川水と下水処理場から放流された処理水に、太陽光と同じ紫外線を照射したときの様子です。下水処理水が青白く光るのが分かります。この光が蛍光で、水中のDSBPが放出しているものです。河川水中のDSBP濃度が高ければ、その地点には家庭からの排水が多く流入していると判断できます。このような評価は、従来の水質指標であるBODや大腸菌群数ではできません。そこで、河川の中の家庭排水について、その量を知るための新たな指標物質として、DSBPの適用を検討しました。

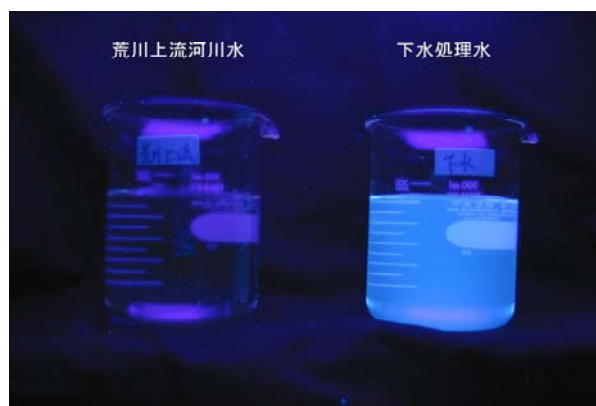


写真 河川水と下水処理水に紫外線を照射したときの蛍光

3 蛍光増白剤の計測

河川環境中のDSBPは、これまでの調査から高濃度でも1リットル中に数マイクログラム程度しか溶けていないことが分かっています。このような微量物質の分析は、高度な分析機器により計測するのが一般的です。DSBPは、他の物質の影響を取り除く前処理と濃縮をした後に、高速液体クロマトグラフィー（HPLC）という方法で濃度を求めます。この分析法は、時間と手間がかかる他に、溶剤を使うという難点があります。そこで、先ほどの写真にも見られる蛍光の計測に着目しました。

水質分析では、物質が吸収する光を測定する方法が古くから用いられています。一方、蛍光を測定する方法は、専門的な知識が必要で精度の問題があったことから普及してきませんでした。ところが近年は、コンピュータによる制御技術が発達して、非常に扱いやすくなっています。このような光の測定は、少ない量の試料で、短時間で簡単に結果が得られるという大きな長所があります。

物質に特定の波長の光を照射して、その時に発光する蛍光の強さ（蛍光強度）を測る方法を蛍光分光測定法と言います。図2は、荒川笹目橋で採水した試料の測定結果です。縦軸の励起波長は物質に照射した光の波長、横軸の発光波長は物質が出す蛍光の波長です。図中の線は、それぞれの波長の蛍光強度について、等しい強度のものを線で結んだもので、ちょうど地図の等高線と同じです。地形と

同様に、縦、横、高さにおける数値があります。

図の中央右側には、山の頂に相当する蛍光強度が最も高くなる点があり、これがDSBPが出す蛍光です。蛍光分光測定法では、発光する物質の蛍光強度からその濃度を求めることができます。しかし、河川水では、水の中に溶けている他の有機物にも弱い蛍光があるために、その影響を除く必要があります。そこで蛍光励起スペクトル解析という手法を開発し、河川水中のDSBP濃度を計算により求めました。その結果は、HPLCの分析結果とよく一致し、蛍光分光測定法でも正確にDSBPの濃度を求められることが確認できました²⁾。

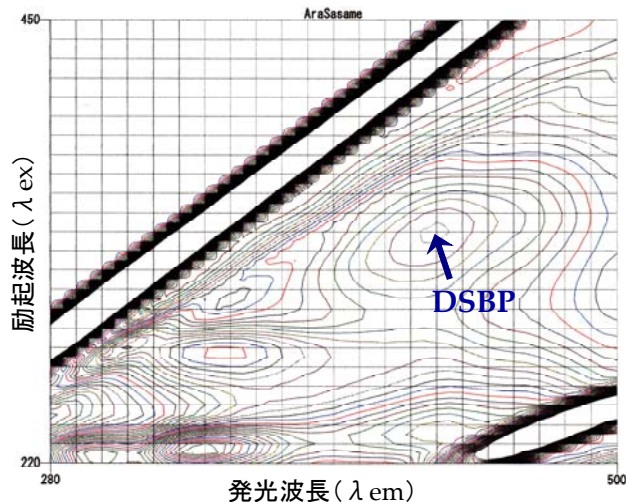


図2 荒川笹目橋の河川水の蛍光測定結果

4 蛍光増白剤の濃度と家庭排水量の関係

家庭排水が河川に流入するには、いくつかの経路が考えられます。一つは、各家庭からの排水が集まって、下水処理場などで効率的に処理されて川に放流されています。その他、各家庭から個別に流れ出るものとして、浄化槽処理水や処理されないで流される雑排水があります。ここでは、これらの家庭排水を総称して、生活系排水と呼びます。

下水処理場や合併処理浄化槽の処理水は、濁りやBODなどは十分に小さくなっていますが、未処理の雑排水は非常に汚れています。したがって、河川水のBOD値からでは、単純にどのくらいの量の生活系排水が河川に混入しているかわかりません。一方、DSBPは、前に述べたとおり処理をしても半分くらいしか減らないので、その濃度と生活系排水の量は関係があると考えられます。

公共用水域の環境基準点では、一日に流入する生活系排水の量を、届出や統計に基づいたデータでおおよそ把握しています。そこで、基準点の中から14地点を選び、DSBP濃度を蛍光励起スペクトル解析で求め、生活系排水量との関係を求めました。その結果、図3のように、河川水の中に占める生活系排水量の割合とDSBP濃度は、ほぼ正比例することが分かりました²⁾。

河川水のDSBP濃度が1 μg/Lの場合、そこには25%程度の生活系排水が流れていると推計されます。しかし、これは下水処理場などで処理された水が多い場合です。図3の赤地点は未処理の雑排水が多く流入する河川で、そのような場合は点線の関係になると想定されます。つまり、濃度1 μg/Lでも12%程度になります。河川水を調査する場合、その地点より上流で生活系排水の処理状況はどうかを考慮することで、生活系排水の割合がおおよそどのくらいかが分かるわけです。

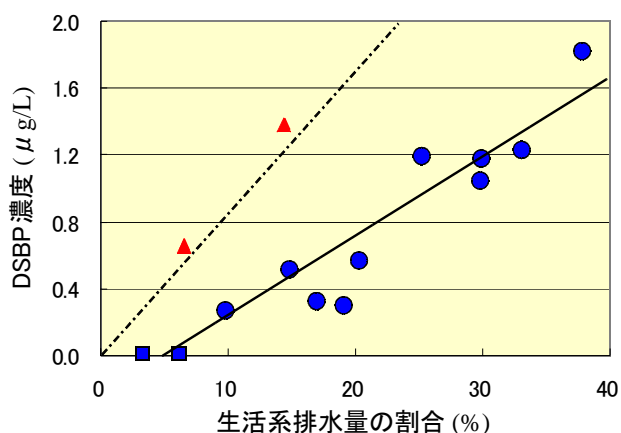


図3 河川水中に占める生活系排水量の割合とDSBP濃度の関係

5 県内河川における家庭排水量と汚濁

埼玉県内の公共用水域には52の環境基準点があり、毎月、水質等の調査が行われています。この中から代表的な42地点を選び、昨年12月にDSBP濃度を調べました。DSBP濃度が高い地点と低い地点それぞれ10箇所は表1のとおりです。参考に、平成18年度のBOD年平均値も示しました。

低濃度地点は、環境基準の類型指定がAA及びAのきれいな河川がほとんどで、生活系排水の割合は5%未満と思われます。C類型の黒目川は、目に見えて汚濁が改善されてきており、DSBP濃度からもその状況がわかりました。高濃度地点は、類型にばらつきがあり、BOD値にも幅がありました。DSBP濃度が2 $\mu\text{g/L}$ 前後の場合、調査した時の水量の約半分は生活系排水であったと推計されます。BOD値の低い柳瀬川、小畔川、霞川の調査地点上流には下水処理場等があり、ここからの放流水が河川の水量の多くを占めていることを反映しています。一方、BOD値が高い鴨川、芝川、元小山川には、未処理の生活系排水が多く流入していると思われました。

表1 県内の公共用水域におけるDSBP濃度

DSBP低濃度10地点

| 地点名 | 類型 | DSBP $\mu\text{g/L}$ | BOD mg/L |
|------------------|----|-------------------------|----------------------|
| 荒川・中津川合流点前(秩父市) | AA | 0.00 | 0.5 |
| 赤平川・赤平橋(小鹿野町) | AA | 0.00 | 0.7 |
| 高麗川・天神橋(日高市) | A | (0.01) | 0.5 |
| 入間川・給食センター前(飯能市) | A | (0.02) | 0.6 |
| 荒川・親鼻橋(皆野町) | A | (0.03) | 0.8 |
| 都幾川・東松山橋(東松山市) | A | (0.04) | 0.6 |
| 成木川・成木大橋(飯能市) | A | (0.05) | 0.7 |
| 利根川・利根大堰(行田市) | A | (0.06) | 1.2 |
| 入間川・落合橋(川島町、川越市) | A | 0.09 | 0.7 |
| 黒目川・東橋(朝霞市) | C | 0.09 | 1.1 |

DSBP高濃度10地点

| 地点名 | 類型 | DSBP $\mu\text{g/L}$ | BOD mg/L |
|-------------------|----|-------------------------|----------------------|
| 鴨川・中土手橋(さいたま市) | C | 2.21 | 5.2 |
| 柳瀬川・栄橋(志木市) | C | 2.13 | 1.4 |
| 小畔川・とげ橋(川越市) | B | 1.97 | 1.4 |
| 霞川・大和橋(入間市) | B | 1.91 | 1.3 |
| 新河岸川・笹目橋(和光市、板橋区) | D | 1.57 | 2.8 |
| 芝川・八丁橋(さいたま市) | E | 1.51 | 5.8 |
| 白子川・三園橋(和光市、板橋区) | D | 1.42 | 3.0 |
| 市野川・天神橋(東松山市) | B | 1.24 | 1.8 |
| 荒川・笹目橋(戸田市) | C | 1.13 | 4.0 |
| 元小山川・本庄妻沼交差点(本庄市) | B | 1.03 | 5.0 |

* ()は定量下限[0.067 $\mu\text{g/L}$]未満で検出された値

6 おわりに

川の水には様々な物を運ぶ作用があり、人々の日常生活で使った水も例外ではありません。今回の調査では、河川には多くの家庭排水が流れていることがわかりました。水処理技術が発達・普及し、水質規制も徹底したことで、川の水質は目に見えて良くなっています。しかし、多種多様な化学物質が流通している現代社会では、排水由来の未知の物質が河川水中に存在しているかもしれません。清流という理想的な川を再生するには、さらに高度な水処理技術の適用や開発が必要になるでしょう。

用語解説

注1) DSBP : 4,4'-bis(2-sulfostyryl)biphenylの略称。人への健康影響に関する報告はなく、魚毒性など水生生物に対する影響も小さい。生物分解しづらいため、多摩川や東京湾の底質で検出されている。

文献

- 1) 安藝皎一, 河相論: 常磐書房(1944), 岩波書店(1951)
- 2) Takahashi, M. and Kawamura, K. (2007) Simple measurement of 4,4'-bis(2-sulfostyryl)-biphenyl in river water by fluorescence analysis and its application as an indicator of domestic wastewater contamination, *Water, Air and Soil Pollution*, 180, 3-49.