

日本水道新聞社の月刊雑誌：
水道公論 61 (3) : 72-83, 2025 年 3 月号
雑誌の印刷は白黒。写真を元のカラーへ、追記もした。

生物屋の緩速ろ過池研究

その42 PFASと生物浄化

信州大学名誉教授 中本 信忠

活性炭で濃縮できる。単なる吸着だけではなそう。生物が介在している可能性がある。

自然界で分解しにくい化合物には注意する必要がある。

環境省 2024年8月

PFOS・PFOA とは？

「有機フッ素化合物（PFAS）」の一種です

- 2000年代はじめごろまで、さまざまな工業で利用されました。私たちの身の回りの製品を作る際にも使われていました。
- 2009年以降、環境中での残留性や健康影響の懸念から、国際的に規制が進み、現在では、日本を含む多くの国で製造・輸入等が禁止されています。
- 日本国内でも、新たに作られることは原則ありませんが、分解されにくい性質があるため、今も環境中に残っています。

<https://www.env.go.jp/content/000241758.pdf>

1 PFAS問題で生物浄化に目を向けたい

岡山県の中山間地域の吉備中央町で2023（令和5）年10月、この町のおよそ1000人に水道水として給水していた円城浄水場の水から2020〜22年度、国の暫定目標値（1トリッあたり50ナグ）の最大28倍の高濃度のPFAS（図1）が検出された。町が発表して明らかにした。汚染源は上流に野積みされ放置された大量の「使用済みの活性炭」とされた。

報道によると吉備中央町の住民27人が2023（令和5）年に自主的に血液検査をしたところ平均値が血液1ミリリットル中186ナグとアメリカの指針値（20ナグ）の9倍にのぼっていた。

その後、新聞やテレビでPFASに関する報道が多くなった。PFASは石油コンビナート、基地、空港などの施設の消火装置で使われる泡消火薬剤として使われていた。それらの施設の周辺土壌などが汚染されている事実が判明し大きな問題になっている。

日本では欧米でのこの問題が多くなってきていたので、日本でも、令和2（2020）年5月28日付け環境省水・大気環境局長通知「水質汚濁に係る人の健康の保護に関する環境基準等の施行等について」で、水環境に係る暫定的な目標値として1トリッあたり50ナグ（PFOSおよびPFOAの合算値）を設定していた。

国は「暫定目標値」を設定したが、水道事業者等への検査などの法的な義務づけはしなかった。水道水の品質に関して環境省のPFASの解説では、フライパン

“フッ素コーティング製品”に“フッ素コーティング製品”に使われている？

使われていません

PFOS・PFOA以外のフッ素化合物が使われています

<https://www.env.go.jp/content/000241758.pdf>
環境省 2024.8.

昔は、フライパン等の撥水・撥油加工に用いられるフッ素樹脂の製造の際にPFOAが使われていましたが、今は使われていません（法規制だけでなく、企業の自主的な取組により、使用廃止されました）

などの撥水・撥油加工に用いられたフッ素樹脂は、今は使われていないとあり、法規制だけでなく、企業の自主的な取組により使用禁止されたことあった（図2）。また、解説では2009年からPFASの測定を実施し、環境中の濃度は少しずつ減っているとある（図3）。

全国各地の水道水の検査で暫定目標値を超える値が検出されていたことを受け、環境省はPFASの2つの物質について2024（令和6）年12月24日に開かれた専門家会議で水道法上の「水質基準」に引き上げる方針を示し了承された。

「水質基準」に引き上げられると

人工的に作った化合物は自然界の生物でも分解しにくいものがある。発癌性、毒性があるということは、生物が反応した事を意味する。それなら、生物が、時間がかかっても何とかするかも。これが生物屋の発想だ。

環境中で、少しずつ減っている。
その仕組みに、生物が関与している
可能性がある。

✓環境省や自治体が、
河川等のPFOS・
PFOA濃度を測定※
公表しています

※ 2009年より測定を実施

環境省 2024.8.



✓測定結果によると、
環境中のPFOS・PFOAは、
少しずつ減っています



図3 少しずつ減っていた

自治体や水道事業者に定期的な水
質検査の実施やPFASの濃度が
基準を超えた場合の改善が法律で
義務づけられることになる。
一方、基準値については国が「健
康に悪影響が生じないと考えられ
る水準」としている現在の「暫定
目標値」と同じ1ppbあたり50ナノグラ
ムとした。
なお水道事業者が対応する時間
が必要として施行は2026年4
月からとなる見通しである。
PFASは活性炭に吸着濃縮さ
れていた。また環境中のPFAS

石油も微生物が分解する。微生物ハンターに注目したい。

も少しずつ減少していた。私は、そ
れは単なる吸着だけでなく、PF
ASと反応する微生物の働きもあ
ると思った。

大学の知人が石油分解菌の研究
をし、ガソリンスタンド近くの土
壤から探そうとしていた。また学
会では温泉の泉源で繁殖する微生
物や微小動物を研究している研究
者もいた。自然界には鉄酸化細菌、
マンガン酸化細菌などもいる。自
然界中に溶けている微小の鉱物成
分を細菌が濃縮し細胞内に蓄積す
る現象をバイオミネラリゼーショ
ンと言っている人もいた。

私はPFASが自然界中で減少
するのは、単なる希釈だけでなく、
PFASと反応する微生物の働き
の関与もあると思われる。私は時
間がかかるがPFASも生物群集
の活躍で分解可能と思う。

PFASが話題になり、これか
らは自然界での生物分解にも目が
向けられるのではと思った。

2 褐色の地下水から生物浄
化で飲用可の水に
私は2002（平成14）年に縦
書きの本『生でおいしい水道水』

を築地書館から出版してもらった
（図4）。水道の専門技術者だけ
なく、一般の人にも目を向けても
らいたかった。「緩速ろ過は自然界
の生物群集の活躍で安全でおいし
い水ができる」と解説した。20
05（平成16）年には技術解説本
『おいしい水の作り方』も出版し
た。

そしたら岩田草平さん（東京芸
術大先端芸術表現科卒同大学院修
士卒）から「緩速ろ過なら自分で
も安全な水をつくれそうなのでノ
ウハウを教えてください」と連絡があつた。
岩田さんは2003（平成15）年
からサラエボ国際文化交流（S I

緩速ろ過池では浅い砂の上で藻
が繁殖し、藻を餌として微小動物
が繁殖する。微小生物は何でも捕
捉して生物分解をする（図5）。糞
塊の中では酸素不足になり発酵が
生じ、大きな分子が小さな分子に
まで分解する（図6）。また砂層が
約1メートルあるが、砂層近くには多
くの微小生物がいる。それは餌が
上からくるからである。砂層深く
のところでは生物が分解した残り
物を分解する生物が活躍し、徹底
的に生物分解が進むと説明した（図
7）。

岩田さんは2008（平成20）年

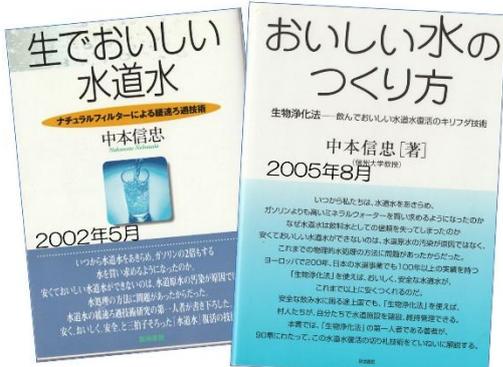


図4 生物浄化法の解説本

緩速ろ過処理を生物群集による浄化という視点の解説本を出した。

生物が活躍するためには、酸素が必要。でも酸素が無く
なっても微生物が活躍し、発酵する。

生物は餌を求め、餌が来るところに集まる。

生物は必死で生きようと、生物利用可能の物質にしている。食物連鎖が鍵だ。糞塊の中で、酸素不足になり発酵現象がおきる。分子結合を壊し大きな分子を小さな分子へ。

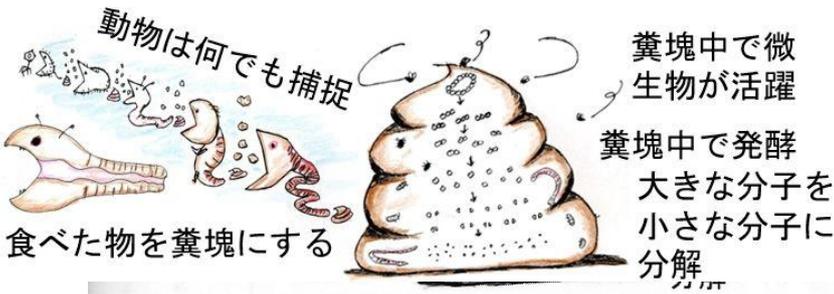


図6 糞塊の中での分解が鍵

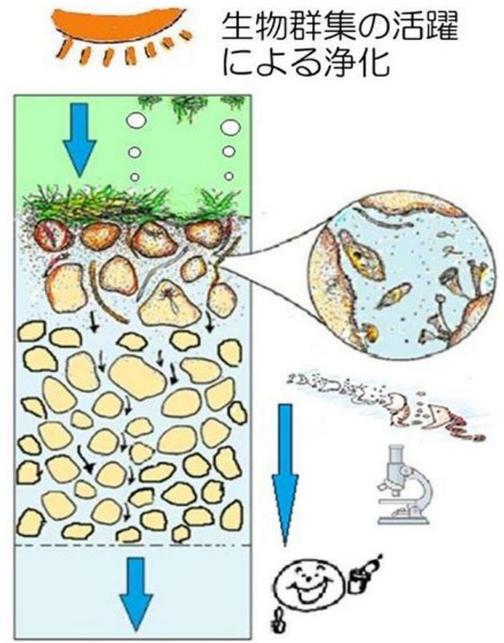


図5 生物群集による浄化

原水は、井戸の水。濁りが無いが、茶色の水。

からインド西ベンガルのコルカタの北150キロメートルにあるシャントイニケタンに渡り、Apam Napat Art Project (水との調和のアート事業) を始めた。褐色の地下水を汲み上げ、砂ろ過を5回繰り返して清澄な水をつくった(図8・9)。この水を水質検査したところ、インドの飲料水基準に合格し飲用可能になったと喜んでメールをくれた(図10)。褐色の腐植物質は生物分解されることを示



図9 褐色の水も透明に



図7 砂層で徹底的に分解



図8 生物分解を繰り返す

茶色の水を、何回も緩速ろ過処理をする。藻が繁殖、生物分解を繰り返す。最後に、無色透明の水になった。

透明になった水を、水質検査に出したら、インドの飲料水基準で、飲用可の、おいしい水だった。

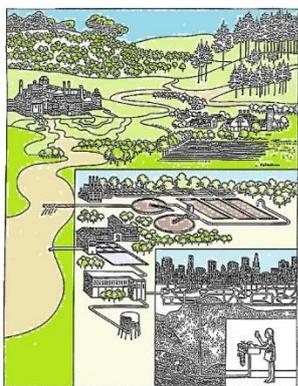


図10 飲料可の水になった

3 難分解性の農薬を生物浄化で分解

1974（昭和49）年、ハリスは「飲み水は安全か」と警告を発表した（図11）。浄化処理で使う化学薬品で発癌物質が生成されると指摘された。その後、世界中で化学薬品を使う浄化処理が問題になっていった。

1980年代にブラジルのサンパウロ大で薬品を使わない濁り水



IS THE WATER SAFE TO DRINK?
飲み水は安全か
ハリス 消費者報告
1974年6月

$$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ | \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{H} \\ | \\ \text{Cl} \end{array}$$

有機物と塩素添加で発癌物質生成の危険性指摘。

図11 薬を使わない処理へ

私は粗ろ過指針を手に入れ信州大学で学生と一緒に灌漑用水路の水を使って濁り対策の実験をした。上向流粗ろ過は「生物群集の活躍による濁りの捕捉と分解で維持管理が容易な賢い技術」と気づいた（図14）。

対策で通常の上から下への緩速ろ過処理を、逆に下から上へ流す上向流粗ろ過を比較検討した（図12）。濁り対策で上向流粗ろ過は効果的という成果を1988年にロンドンの国際会議で発表した。その後、国際共同研究がなされ、スイスから粗ろ過指針が発表された（図13）。

ブラジルで、薬品を使わない濁り対策を考えたベルナルドがいた。

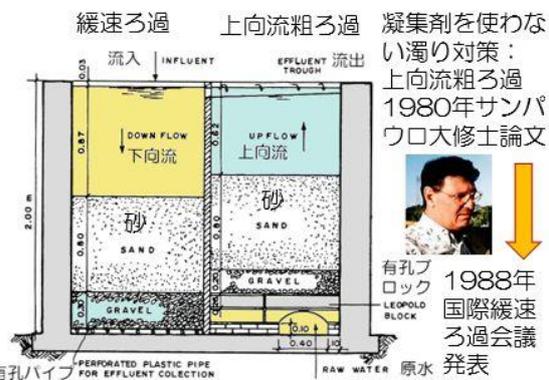


図12 薬を使わない濁り対策

私はバン格拉デシユで活動していたアジア砒素ネットワークの人々の活動に2002（平成14）年から関わった。リーダーの川原一之さんから「日本では使用禁止になっている農薬も使われている。この農薬の残留性が問題である。バン格拉デシユの人々でも、この農薬を分解できる方法を教えて」と頼まれた。

私は自然界には使われている農薬に反応しにくい生物もいると思っていた。そこで自然界では分解されにくい難分解性の農薬の生

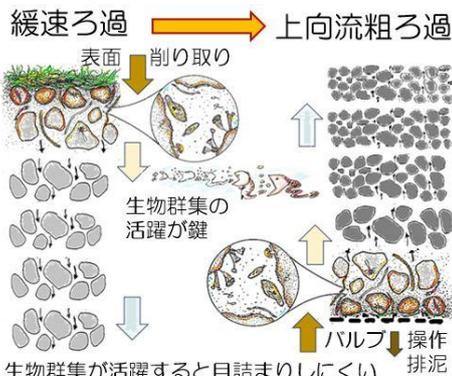


図14 上向流粗ろ過も生物が関与



図13 粗ろ過指針

物群集による分解除去を考えた。取水した水に農薬が入っていると繁殖する藻を繁殖させた。その藻を食べても死なない動物に食べさせ、動物の糞塊の中で農薬を発酵分解させるのが有効と考えた。

薬品処理の急速ろ過が大問題になった。

上向き粗ろ過も、生物群集による濁りの除去と分解だった。

生物分解を徹底的にするため、藻を繁殖させ、動物で分解をするのを繰り返した。



図15 農業分解を考えた

(図6、前出)。
私は上向流粗ろ過は川原さんに頼まれた農業除去にも使えると思った。しかし動物の糞塊中で1回の分解では不十分と考えた。そこで上向流粗ろ過を4回繰り返して、安全のために徹底的に生物分解を繰り返す事を勧めた(図15)。完成した時、現地でリーダーの川原さんに生物群集による浄化の仕組みを説明した。川原さんは元朝日新聞記者であったので、伝えるための的確な言葉を常に考えている人だった。川原さんから「緩速ろ過Slow Sand Filterでは、中本さんが言う浄化の仕組みをイメージできない。名前を変える必

同じ有機物を測定するのに、BODとCODがある。どうしてかを考えた。

要がある」と言われた。そこでは「生物群集による食物連鎖が濁り除去と分解が浄化なので Ecological Purification System H 本語では生物浄化法」と言いだし

4 有機物汚染の指標 BOD と COD

私は都立大の学生時代、資源科学研究所のアルバイトで湖沼や河川の水質調査をしていた。河川の汚染の指標として BOD (Bio-chemical Oxygen Demand 生物化学的酸素要求量) を測定していた(図16)。採取した水をガラス瓶に入れ、光が当たらない培養器内で、20度で5日間培養した。5日間で微生物が水中の生物利用可能な有機物を使って増える際に消費する酸素量を測定した。

この BOD の測定はロンドンのテムズ河の水が酸素不足で嫌気状態にならないようにと考えて開発された指標である。ロンドンのテムズ河の河口域は、干満があり河川水は長期間滞留する。またロンドン近郊の運河などでの水温が真夏でも最高でも20度程度しか上が

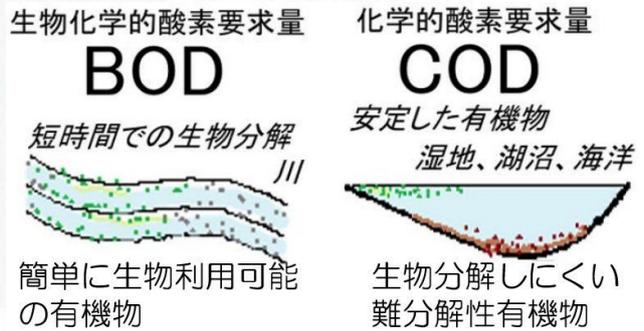


図16 BODとCODの違い

分析法の違いは、何でかと考えた。

らなかつた。また運河の水の交換が悪く、水の滞留時間が長い。そこで20度で5日間という最悪条件を想定して、標準の培養時間が決められたと思っている。
産業革命時代のロンドンでは下水がテムズ河や運河に垂れ流されていた。下水中の有機物が水中の微生物により分解され、テムズ河の水が真っ黒になった。この水が水道水源という1832年の風刺画が有名である(図17)。

熱帯などの暖かい地域の都市に行くとき、身近な小さな河川水などから玉子の腐った臭いがするのは普通である。暖かい環境では生物活動が盛んで、水中の溶存酸素が直ぐに消費されてしまうからである。しかし気温が高くなるから水温も上がらない地域の河川では玉子が腐った臭いはしない。暖かい熱帯と比べ微生物活性は小さく、水中の溶存酸素が直ぐには無くならなかった。そのような地域での身近な河川水は臭くならなかった。
一方、湖沼や内湾などでは、水の滞留時間が河川と比べ、極端に長い。このような環境の水中では生



図17 下水で汚れたテムズ河

産業革命時代のテムズ河は、お糞黒溝（どぶ）状態だった。原因は、下水が河に流れ込んだから、水中で生物が分解し、水中の溶存酸素が無くなった。

難分解性の物質は、分解するのに時間がかかるが、分解されないのではない。

物が利用できる有機物を利用するので、水中には生物が利用できる有機物が少なくなっている。生物が分解しやすい有機物は極端に少なくなる。この様な水域での有機物は生物が分解しにくい難分解性の有機物の割合が多い。この物質は微生物培養によるBOD測定では評価できない。そこで化学薬品の酸化剤で難分解性の有機物を強引に酸化分解させて評価するCOD (Chemical Oxygen Demand) 学的酸素要求量) 法が考えられた(図16、前出)。

都市廃水などで汚れた河川水が湖に入ると、だんだんとBODで測定できる物質が減る。一方、生物により分解しにくい難分解性物質も、長い時間が経過すると少しずつ減少するのが知られている(図18)。この難分解性物質が減少するの、図7(前出)で示したように、時間がかかるが難分解性の物質を分解する微生物による分解があると考えられている。

5 アイソトープ利用と廃棄について考えた

私は都立大学の大学院時代は海

海の生物が少ないのは、生物が利用できる栄養塩、餌が少ないから。

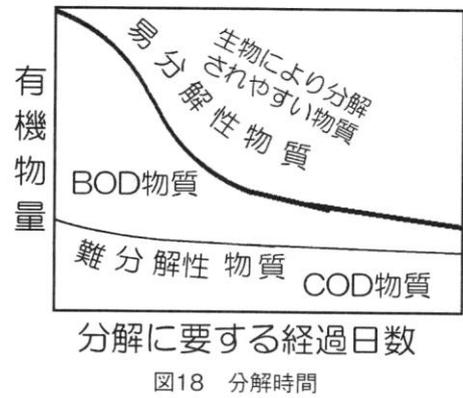


図18 分解時間

洋の植物プランクトンの研究をしていた。海洋は河川や湖沼と違って栄養塩濃度は極端に少なかった。

植物プランクトン濃度も極端に少なかった。海水中に植物プランクトンがどれだけいるかを濃縮して測定した。海水を大量に採取し(図19)、ガラス繊維ろ紙に海中の植物プランクトンを濃縮した。ろ紙上の植物プランクトンの葉緑素(クロロフィル)を抽出し、その濃度を測定した。

また植物プランクトンの光合成活性を測定するのに、プランクトン濃度が濃い場合は、溶存酸素濃度の変化で測定していた。しかし海洋のプランクトン濃度は極端に



図19 大量の海水を採水

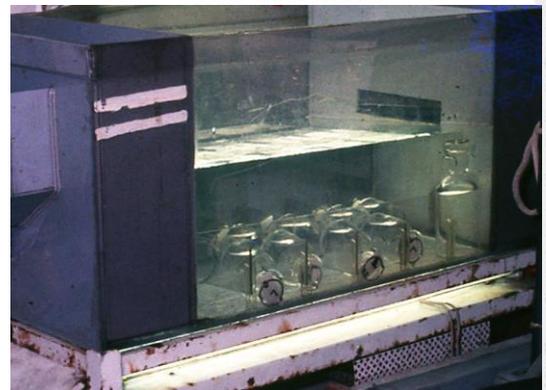


図20 瓶に入れての活性測定

処理をしていた。

法令に従って廃棄すると言うのが、廃棄物濃度は基準値以下なら廃棄できた。日本では総量でなく濃度で判断し、基準値以下にすれば廃棄が可能であった。また海洋は無限大の希釈液という考えがあった。海洋に投棄すれば希釈され基準値以下になるので問題は無いという考えがあった。検出できない濃度になるので問題が生じないという考えがあった。

1962(昭和32)年にアメリカでレーチエル・カーソンが『沈黙の春』を出版し世界中で話題になった。日本では1964(昭和

近藤さんは多岐に渡り、徹底的に調べていた。

海洋の植物プランクトンの光合成活性を測定するために、放射性同位元素のC14を使った。



図21 沈黙の春の訳本

DDTは殺虫剤として効果的だったが、散布したDDTは、有機塩素化鉍物で、生物には毒だった。それが、自然界の食物連鎖で、想定外の生物まで死んでしまった。その警告本が、カーソンの「沈黙の春」。

太平洋の真ん中のハワイ島の頂上にある観測所で、炭酸ガス濃度を長い間測定していたが、確実に増えていた。

34)年に『生と死の妙薬』(最初の日本語訳のタイトル)として出版された(図21)。この本は除草剤、殺虫剤として使われた有機塩素化合物が生物濃縮で想定外の生物にまで濃縮される危険性を解説した。この本は安全と思われていた濃縮でも自然界で食物連鎖により生物濃縮されることを指摘していた。私の学生時代は世界中の人々は安全とは何か、安全な濃縮は何なのかについて考えだした時だった。私は大学で、生態学、食物連鎖を勉強し海洋調査をしていた。基準値、安全な濃縮について、本当に安全かと考えた。

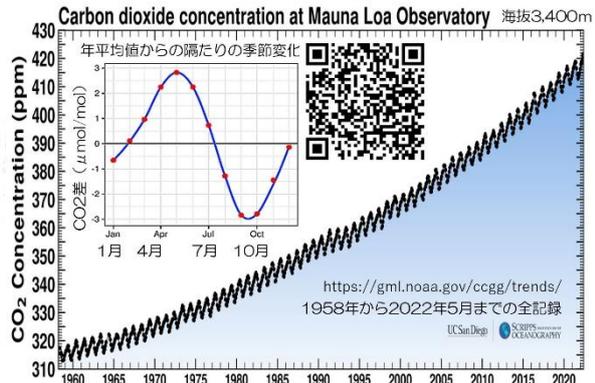


図22 大気中の炭酸ガス濃度の変化

環境に悪いことをしてはいけないと思えば放射能の半減期が5700年と長い放射性同位元素のC14を使うのを止めた。

当時、放射性同位元素のC14を使う実験では感度が良く、結果が簡単にでるので皆が使っていた。でも、生態学を学んだ良識ある若者として、放射性同位元素を使うのは止めようと思った。

6 測定された値は正しいか

私は結果が出て、出た数値を信用しても大丈夫かと考えるよう

野外生物の活性は野外での活性を測定する必要がある。

野外で動きまわっている生物を閉じ込めて活性を測定する。野外の本当の活性を測定できているのか。



図23 生物の本当の活性測定か

になった。海洋調査では濃度の薄い植物プランクトンの活性を測定するのに瓶に入れ放射性同位元素を使って結果をだしていた。広々とした野外で活躍していた生物の活性を小さな瓶に入れて、活性測定をして数値がでて、野外での実際の活性を測定しているのかについて疑問を持ち出した(図23)。その後、私は全ての実験方法について、本当に正しい方法なのかについて吟味するようになった。

海洋調査では瓶に入れての活性測定でなく、植物プランクトンを濃縮し現場での量の変化、現場の植物プランクトンの状態の変化を研究するようにするようになった。海洋では活性が良い生物よりも、活性が悪い生物や死骸が多かった。また生物は極貧栄養の環境でも、その環境に適応した生物が活躍していた。それらの生物は餌を求め、飢餓状態が普通であることに気づいた。

7 凝集剤を使うと水質が悪くなる

私は上田市の染屋浄水場の緩速ろ過池での藻類繁殖と比較するため高崎市の若田浄水場を調べさせてもらった(図24)。当時の場長は次の様な説明をしてくれた。

高崎市には1910(明治43)年に建設された剣崎浄水場があった。利根川の支流の烏川の表流水を取水し濁り対策は沈殿池だけで

現場主義、生物が活躍する現場を見て、その現象はと考えるのが基本。

醸造に使う、おいしい水を求めた麒麟ビール会社。高崎市にある明治時代に建設した剣崎浄水場の水が一番おいしかった。そこで、若田浄水場が建設された。

あった。剣崎浄水場のろ過水は水質良いので、麒麟ビールは高崎市に大きな醸造工場を建設することにした。高崎市において緩速ろ過による浄水場を新たに建設してもらった。それが若田浄水場で1964（昭和39）年に完成した。剣崎浄水場と同じ水源で河川水は雨で濁った。そこで最新の濁り水対策を採用し凝集剤を使うよ



ビール工場から凝集剤を使うと水質が悪いと苦情がきた。凝集剤を止めたら水質が良くなった。

<https://youtu.be/p2PKxIIN1IZY>

水道公論 2022年1月号 58(1)70-80. 生物屋の緩速ろ過池研究 その4 ビールが守った生物浄化

図24 ビールが守った生物浄化

高崎市の若田浄水場のろ過池の藻の繁殖は上田市より悪かった。若田浄水場のろ過池水深が2m近く深かった(図25)。当時の水道界の常識は「藻の繁殖は悪い」であった。そこで水深を深くし底に日射が届きにくい状態にする最新の設計であった。

私は「上田市は海拔高度が500mであるが高崎市の海拔高度は150mで気圧が違っていた。気圧と水圧が大きいから、藻が繁殖し光合成をしても、気泡が生じにくく、藻類被膜が浮き上がりにくい」ことに気づいた。

私は染屋浄水場で藻を繁殖させて砂層上部で生物群集が活躍させるとろ過閉塞しにくくなったことを解説し、若田浄水場でも藻の繁殖状況を調べさせてもらうのを了承してもらった。

当時、若田浄水場では創設してから、一度も砂層の天地替えや砂層の入れ替えをしていなかった。そこで砂メーカーの日本原料に頼んでろ過池の砂層状態を調べてもらった。会社から「深い砂層部分は、一切、汚れていない」と報告を受けていた。

うにした。しかし河川が降雨で濁り、凝集剤を使うと麒麟ビール工場から「水質が悪く、醸造に使えない」と苦情がきた。当時の場長は「隣の剣崎浄水場は沈殿池だけで緩速ろ過処理をしている。若田浄水場にも沈殿池がある。それなら凝集剤を使う必要がないのでは」と判断をした。そこで凝集剤を添加するのを中止したら醸造工場でも水を使ってくれた。

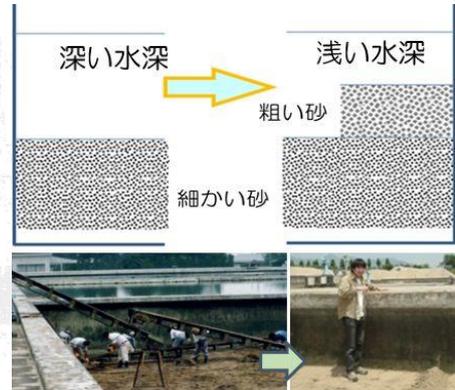


図25 水深を浅くした

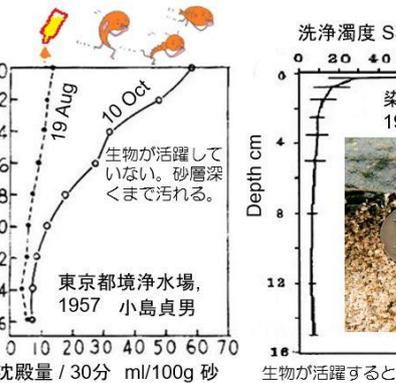


図26 生物が活躍すると汚れない

私は「緩速ろ過は山の湧水を人工的につくる仕組みで、生物群集が嫌がることをしなければ、天地替えは必要ない」と解説した。また「薬品の影響があると生物群集が活躍できず、砂層深くまで汚れ、砂層の天地替えが必要となる(図

26)。ろ過池の水深を浅くし生物活性を高める方が良い」と当時の場長に解説をした。当時の場長は東京などでの水道技術研修での説明では剣崎浄水場や若田浄水場での経験とは違い、納得していなかった。私が解説する「緩速ろ過の浄化の仕組みがわかる」と言ってくれた。

生物活性を高めるために、水深を浅くすることを勧めた。

生物が活躍するなら、砂層は汚れない。

大先輩の東京都水道局で活躍していた小島貞男さんも、間違いをしていた。

若田浄水場には「藻は正義の味方」という看板を立ててくれた。



図27 藻は正義の味方

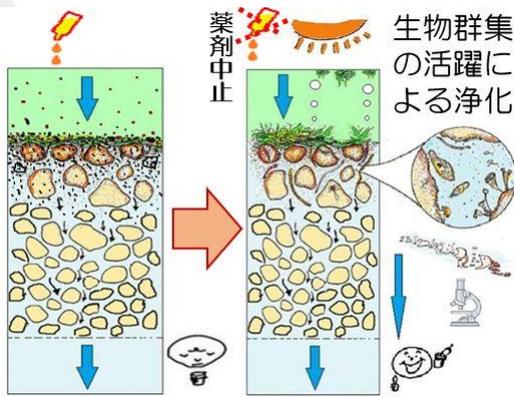


図28 生物の活躍が浄化の鍵

明していた(図28)。

高崎市での調査の経験から凝集剤を使うとろ過池の生物群集が活躍できず、ろ過池は目詰まりし、水質も悪くなると上田市水道局に説明していた(図28)。

8 上田市では凝集剤添加を誤解していた

私は学生と一緒に染屋浄水場の原水濁度、ろ過池流入水濁度、凝集剤の添加量を調べた(図29)。原水濁度は雨が降ると極端に高くなるが直ぐに、濁度は小さくなった。濁り水が浄水場に入ってきて沈殿池があるのではろ過池流入水濁度は10度を超えそうも無かった。凝集剤を添加するともろ過池流入水濁度は極端に少なくなった。ろ過池は通常は底がやっと思える程度で前出)を思いださせた。

底には糸状藻類が真綿状に繁殖し藻類被膜が発達していた。藻類被膜は光合成活動で生じた気泡の浮力で浮き上がろうとしていた(図30)。しかし凝集剤を添加すると、ろ過池の水は透明になり底の砂面がきれいに見えた、しかし砂面の藻類被膜の上は真っ白な粉が撒かれた状態になっていた(図31)。何

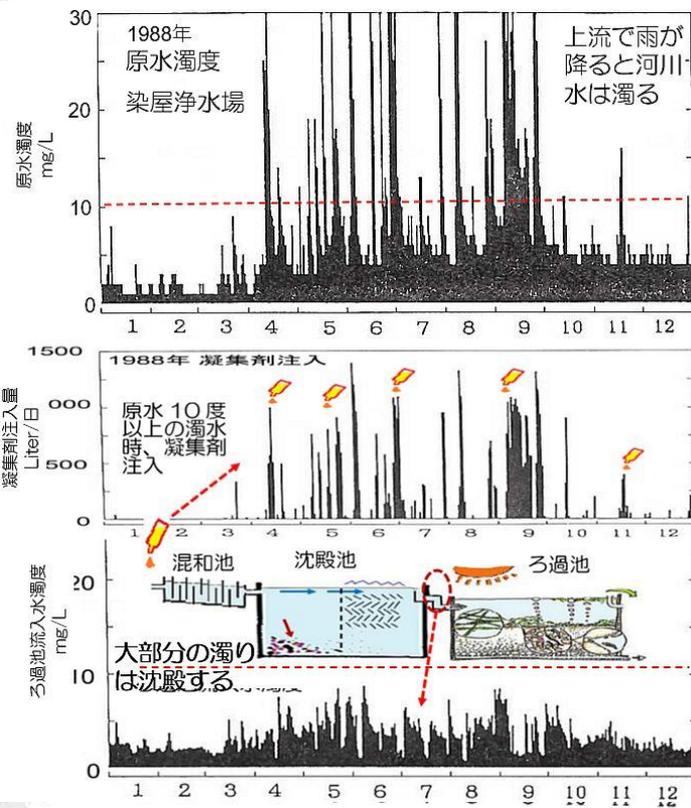


図29 原水濁度と凝集剤

生物が活躍するとおいしい水になった。

緩速ろ過は生物群集の活躍による浄化と思っていたいかなかった。濁り対策で凝集剤を平気で使っていた。

染屋浄水場では、原水濁度が10mg/Lになると凝集剤を使っていた。

底にまで光が到達するなら藻が繁殖し、光合成により酸素が生産され、その気泡の浮力で藻が浮き上がる。

菅平ダム湖放流水の影響が大きい石舟浄水場では、濁り水の影響が大きい。

上田市の染屋浄水場の海拔高度は500mだが、同じ取水河川(神



図30 光合成の気泡で浮上

川)の上流、海拔高度700m以上ある石舟浄水場も比較のために調べた(図32)。神川の上流は火山灰土の菅平高原があり、降雨があると火山灰土由来の細かな濁りが多く、沈殿池でも沈みにくいことがわかった。石舟浄水場の原水濁度は、下流にある染屋浄水場の原水より濃度が高いことがわかった。石舟浄水場の原水濁度は8月から11月にかけて極端に濁りが多い状態が続いていた。それは、その直ぐ上流にある多目的ダム湖の菅平ダム湖で秋の台風に加え、水位を極端に下げる運用をし、夏から秋

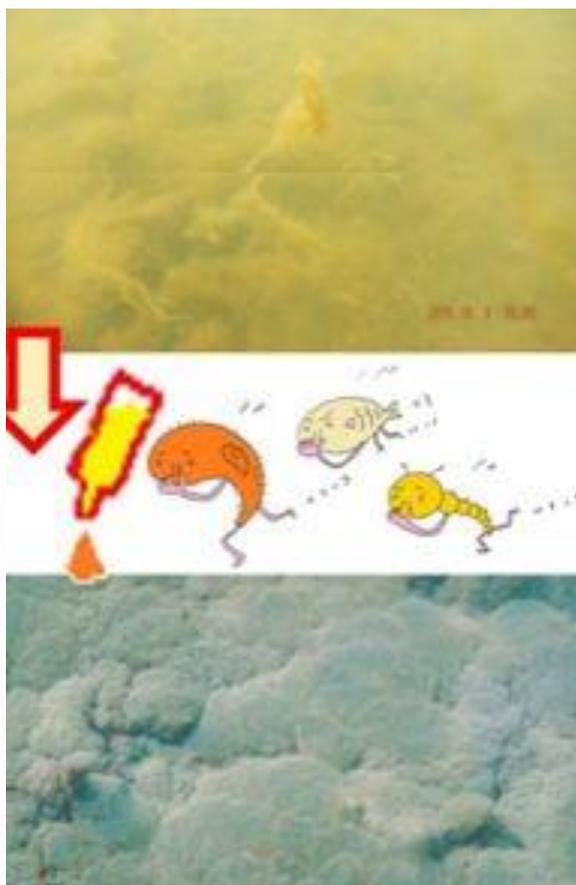


図31 薬で藻類被膜はべっとり

の放流水は常に濁った水を放流していたからであった(図33)。この様な極端の濁りでも沈殿池の沈殿効果が有り凝集剤添加は必要なさそうと思われた。
日本水道協会の水道維持管理指針を調べると、「ろ過池流入水濁度は10度以下になるように」と記述されていた(図34)。上田市は「ろ過池流入水濁度と原水濁度とを勘違い」をしているのに気づいた。そこで「上田市に勘違いをしている。

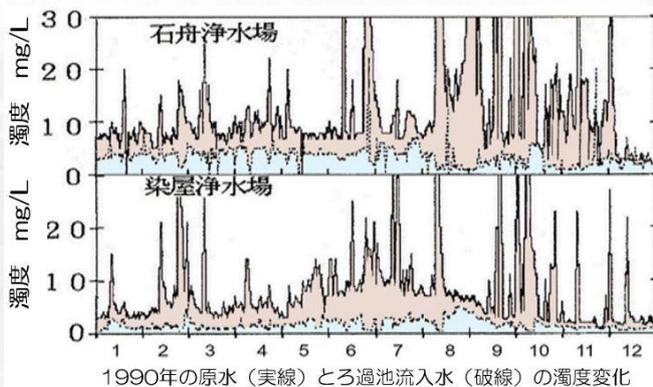


図32 上流と下流の濁度変化

7.6.2 普通沈澱池

日本水道協会2016
水道維持管理指針 p315

1. 運転

- ① ろ過池流入水濁度は10度以下となるように常に原水及び沈澱処理水を監視する。沈澱処理水水質は、原水の水質によって左右されるので、必要に応じて流入量の調整や凝集剤注入等適切な処置を講じる。
- ② 原水濁度が30度以上のときは、前処理として沈澱池への流入前に凝集剤を注入し、凝集沈澱を行い良好な沈澱処理水を得るように努める。この場合、フロックによるろ過池の閉塞を早めることのないように、上澄水を取水するよう配慮する。

図34 指針の濁度と凝集剤



図33 夏から秋は濁水を放流

凝集剤を使うと、砂面は、白い粉で覆われる。生物は萎縮し、逃げる。

上田市では、ろ過池流入水濁度で判断するのを、原水濁度で判断すると、間違えていた。それを指摘していたが、修正されなかった。

日本で、世界で、緩速ろ過を生物浄化法と認識した場所は、上田市の染屋浄水場。その上田市が世界の手本になってもらいたく、助言をしてきた。

薬品処理の急速ろ過は、ろ過池の面積は小さい。全施設面積は広大。水質も悪く、汚泥も大量。

原水濁度30度までは凝集剤を添加しないで大丈夫」と何度も伝えたが、私の助言は無視され続けた。

9 上田市の浄水場を生物浄化法の手本に

私は2008(平成20)年3月に信州大学を定年退職した。大学から「特任教授をしますか」と打診されたが辞退した。

私は定年前からJICA(国際協力機構)の国際研修に協力していた。緩速ろ過は自然の仕組みの活用でお金が無い発展途上国の人々でも維持管理ができる仕組みであるので、定年退職後は海外で求める人へ協力をしようと考えていた。定年退職後は日本国内でのJICA研修への協力、サモア水道公社への協力、フィジー上下水道局への協力もした。フィジーへの協力が終わる2019(平成31)年の春先、体調が悪くなった。海外で体調が悪くなるといけないと思いい、それから海外へ行くのは止めた。

私は2005(平成17)年に『おいしい水のつくり方』を出版した。その後、長い間、海外などで活躍

し、経験と新しい知識が増えた。そこで改訂増補し『おいしい水のつくり方2』として信州大学繊維学部同窓会(千曲会)から2021(令和3)年に出版してもらった(図35)。

上田市には上田市営の緩速ろ過による浄水場の他に千曲川の左岸に長野県企業局の諏訪形浄水場がある(図36)。この浄水場は1964(昭和38)年に完成した急速ろ過による浄水場であった。この浄水場は常に工事をしていた。急速ろ過から排出される汚泥を乾燥させる天日乾燥床は、以前は草が茂っていたが、いつの間にか天日乾燥床は真っ黒になっていた。急速ろ過では緩速ろ過みたいに良質



図35 唯一の生物浄化解説本

緩速ろ過処理の唯一の解説本。

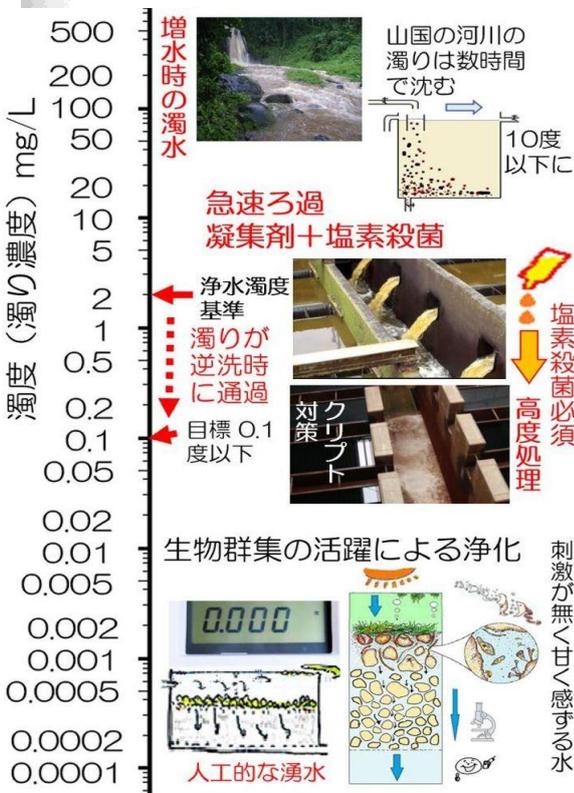


図37 濁度と浄化法



図36 急速ろ過の浄水場

な水ができないので、現在は活性炭を大量に使っている。戦後、最新技術で良いと宣伝され盛んに導

入された急速ろ過処理では良質の水を作れないのは明白であった。そこで活性炭を使いPFASなども除こうとしている。それでも緩速ろ過処理の水と比べると良質の水ができていない(図37)。上田市営の染屋浄水場は自然流下で沈殿池と緩速ろ過池と配水池があるだけである(図38)。緩速ろ過処理としては長野県で一番浄水能力がある大きな浄水場である。ろ過池のバルブ操作も手で電氣を使わない。生物群集の活躍による浄化で、維持管理が楽で、薬を使

薬品を入れての浄化。汚泥処理が大変。どうしても生じた沈殿物が除けず、ろ過水を殺菌する必要がある。生物群集が活躍する浄化、天然の湧水を人工的につくる。浄水濁度は、桁違いに小さい。

染屋浄水場、基本的には、動力は使わない。バルブ操作は手動。停電しても大丈夫。



780m²のろ過池で5m/dでろ過するなら
 1池の浄化能力 = 3,900m³/d = 13,000人/日
 13池中12池使用で = 46,800m³/d = 156,000人/日

図38 染屋浄水場

わなくても天然の山の湧水を人工的に作る仕組みである。スーパークリーンで刺激が無い少し甘く感じる「おいしい水」をつくれる。上田市の緩速ろ過池で生物群集の活躍が盛んなところは砂面近くで、砂層深くは汚れない(図26、前出)。生物群集が嫌がる薬品を使つてはいけない事を確かめた場所は上田市の浄水場である。

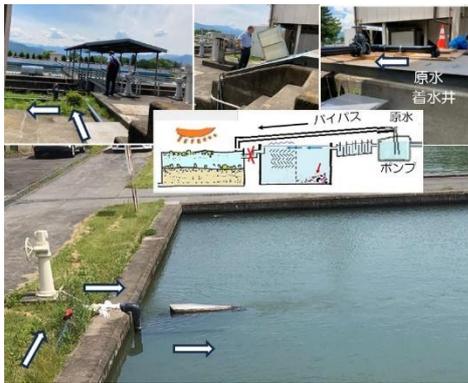


図39 凝集剤を添加しない実験

私が高崎の浄水場を調査し、日本の様な山国では緩速ろ過では沈殿池があれば凝集剤を使う必要ないことを確信し、上田市に生物浄化のためには、凝集剤を添加しないようにと、長い間、言い続けてきた。高崎の場長に、何度か、上田まで来て説得してもらったりもした。

上田市では2022(令和4)年に、やっと凝集剤を入れないでろ過池が目詰まりしないのを確かめる実験をしてくれた(図39)。それまで、原水濁度が10度で凝集剤を入れていたが、2024(令和6)年は原水濁度が30度になるまで入れないようにしても目詰まりしないことを確かめてくれた。

石舟浄水場では夏から秋に原水濁度が高くなるが(図32、前出)、原水濁度が30度になっても凝集剤を

入れないようにしても大丈夫だったのを確かめてくれた。先日、染屋浄水場の場長は原水濁度100度になっても大丈夫かを確かめたと言ってくれた。

自然界の生物群集の浄化能力を発揮できるようにと学生と一緒に研究をしたのが上田市の染屋浄水場である。上田市の染屋浄水場から生物浄化法の考えと名前が生まれた。

私は上田市に濁り対策で理想的な上向流粗ろ過が導入されるのを夢みている。

10 生物浄化への流れが上田市から始まった

急速ろ過の逆洗行程で病原菌が通過し最後に塩素殺菌が必須である。塩素で発癌物質が生成し薬品処理が問題になった。薬品を使わない安全な緩速ろ過が見直された。クリプト原虫により大規模集団下痢事故があり、高度処理、膜処理へと技術開発が盛んになった。

私は上田市で生物群集の活躍が浄化の鍵と気づき、生物群集にやさしくすれば、難分解性の物質も分解できることに気づいた。現在、

難分解性のPFASが活性炭に吸着濃縮されるが問題になっている。生物浄化の仕組みを徹底すれば時間がかかっても分解除去できる可能性があると気づいた。

緩速ろ過処理は生物群集の食物連鎖による分解が浄化の鍵である。生物群集にやさしくする事が必須である。ブラジルで開発された上向流粗ろ過は急激の水質変化や濁り対策に有効で、生物群集にやさしい前処理である。

緩速ろ過Slow Sand Filterという名前での浄化の仕組みを誤解した。生物浄化法Ecological Purification Systemと認識したい。『おいしい水』を出版した。また本誌「水道公論」で解説をしている。国際協力機構JICAは長野県上田発の生物浄化法は世界に貢献できる日本発の技術として20年間以上も応援をしてきている。日本の水道指針に生物浄化法を取り入れてくれたら、日本にも広まると思っている。

皆に長野県上田市に来てもらい、生物群集による浄化法は素晴らしいと実感してもらいたい。

2022年にやっと、凝集剤を入れない実験をしてくれた。

長野県上田市から、緩速ろ過の見直しが始まった。生物浄化法と呼ばないと誤解すると気づいた場所。一度は、見に来てみたらどうだろうか。