



生物屋の緩速ろ過池研究

その35 生物群集が活躍する方が砂層内は汚れにくい

信州大学名誉教授 中本 信忠

道具ができて研究が進んだ

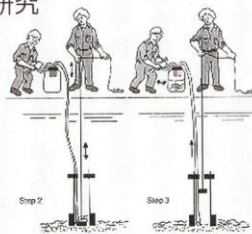
水道公論 2021年10月号
57(10) 47-53.

生物屋の緩速ろ過池研究
その1 道具ができて
研究が進む



<https://youtu.be/UC36h8MXM9o>

図1 道具ができて研究が進む



1 削り取り時に、砂面上に残っている藻類量を推測

私は1984 (昭和59) 年から学生と一緒に上田市の染屋浄水場の緩速ろ過池で繁殖する藻の役割を研究しだした。ろ過継続中でも砂面上の水を抜かないで砂層上の藻類被膜を採取できる道具を工夫し、砂面上の藻類を調べることができ研究が進んだ。この道具の開発については本連載「その1」(道具ができて研究が進む、2021年10月号)で解説しユーチューブにアップした(図1)。



図2 砂層面の真綿状の藻

上田市の緩速ろ過池では砂面上に日射が当たると砂面上では藻が繁殖する。緩速ろ過池は上から下へのゆっくりとした流れがあるので、砂面上では糸状に立体的に繁殖できる糸状で真綿状になれる珪藻メロシラという藻が繁殖していた(図2)。

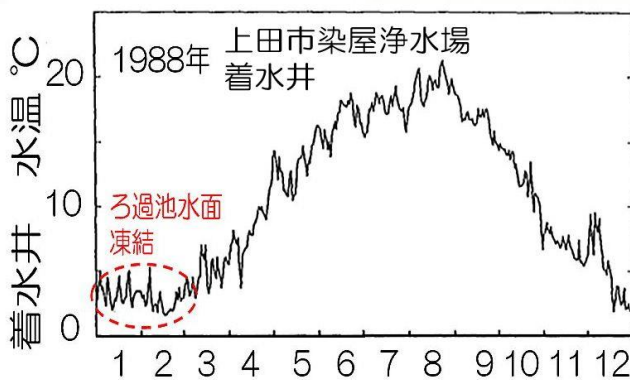


図4 着水井の水溫変化



図3 厳寒期は水面凍結

染屋浄水場のろ過池表面は、厳寒期は凍結する。
そんなに高くならなかった。

取水した水を、何キロもの長距離、道路下に埋設した導水管で暖められる。染屋浄水場の着水井の水溫はゼロ度にならず、プラスだ。

(2024/8月号) 水道公論

冬は藻の繁殖は悪く、削り取り時の砂層には藻が多い

夏は藻の発達が良い。削り面の砂は汚れていない。

緩速ろ過は生物群集の活躍による浄化。生物の立場で考える。

ろ過池の砂面上で繁殖する藻類は細胞分裂して増える。日数と共に細胞数は1、2、4、8、16、32、64とネズミ算的に倍々と増え、急に増えるように感ずる。そこで細菌や藻類培養をする研究者は細胞数（細胞量）が経過日数に対してどのように増えるかを把握するために細胞量を対数目盛で表すのが一般的であった。

染屋浄水場での藻類の細胞分裂の速度は水温が低く、日射量が少ない1・2月は遅く、その増加割合は低い（図5）。日射量が多く、水温が高い夏は日射量も多い7月は藻類の繁殖速度は冬よりかなり早かった。ろ過継続が10日から2週間程度で夏の藻類量は急に減少していた（図6）。変温動物のユスリカ幼虫の活動は水温が高い時期は盛んで、糸状珪藻はユスリカの餌として盛んに食べられた。糸状珪藻メロシラはユスリカ幼虫の餌として最適だった。

砂層面での藻の発達状況からろ過継続0日目（削り取り時）の藻類量（縦軸の0日目の値）を推定すると、冬と夏では明らかに違っていた。砂面の削り取りの厚みは

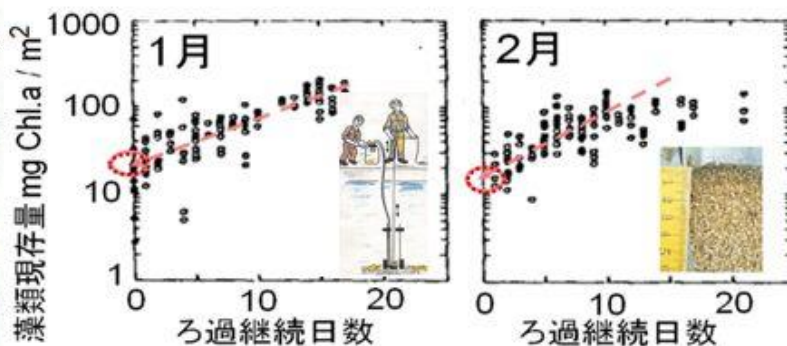


図5 冬の藻の発達変化

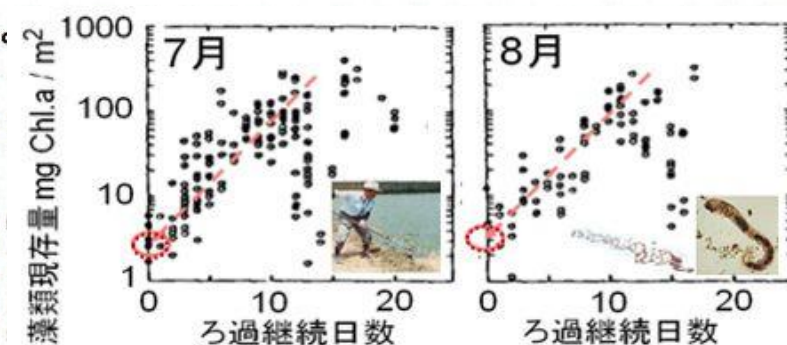


図6 夏の藻の発達変化

夏と冬ではほとんど変わらないと考えると、削り取りでの砂面内へ入った藻とその死骸量が異なると考えられた。水温が低い時期で生物活性が悪い時はクロロフィル量で表した藻類量は1平方メートルあたり約20ミグらであるが、生物活性が良い夏は、数ミグらと10分の1程度と

少なかった。生物活性が良い季節は砂層内は汚れにくかった。夏は日射量が多くろ過池での藻の繁殖が良かった。また水温が高いので、藻を捕食するユスリカ幼虫やその他の微小生物の活性が良く、砂層内に入る細かな濁りなどを捕捉されやすいと考えられた。

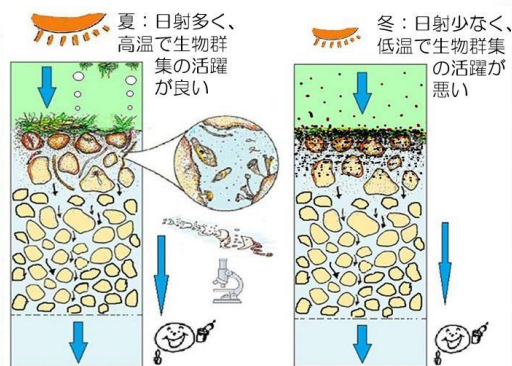


図7 藻の発達と微小動物の活躍

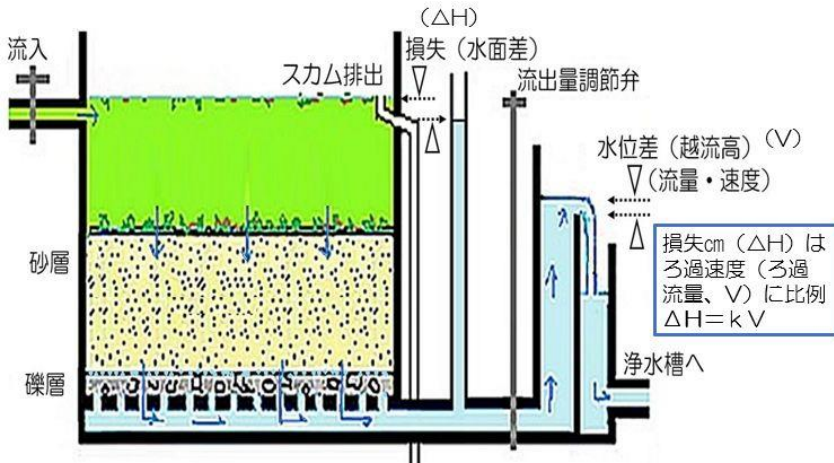
（図7）。冬は日射量が少なく、水温も低いので、砂面での藻の発達が悪く、また微小生物の活性が悪い。砂層内に流入してくる濁りの捕捉は水温が低いと悪いので砂層内へ濁りが入りやすいと思われる。

2 ろ過抵抗を標準化損失水頭で評価

上田市の染屋浄水場は河川表流水が水源である。集水域内には農耕地もあるので原水中には栄養塩が豊富でろ過池で藻が繁殖しやすい。日射量が多くなるとろ過池で藻が盛んに繁殖しだすと目詰

生物が活躍すると、砂層は汚れない。
生物活動が悪いと砂層は汚れる。

見かけの損失（水位差）はろ過速度に比例する。



まりしにくくなった。
日本の指針ではろ過池の水面とろ過後の水面差を損失といい、この損失が大きいとろ過抵抗が大きいと解説をしている（図8）。
しかし、ろ過速度と水面差は比例するので、ろ過抵抗を表していないのに気づいた。ろ過抵抗を表すにはどうしたら良いか海外の論文などで調べた。論文では緩速ろ過池の管理状況を表すのに実測の

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jstwtb1964/28/1/28_1_7/_pdf
日本水処理生物学会誌
Jap. J. Water Treat. Biol.
Vol. 28, No. 1:7-16, 1992
緩速ろ過池のろ過閉塞指標としての標準化損失水頭と藻類
NORMALIZED HEAD LOSS AS A CLOGGING INDICATOR IN SLOW SAND FILTER AND ITS ALGL FLORA
中本信忠・坂井正
Nobutada NAKAMOTO and Masashi SAKAI

図9 標準化損失水頭を学会誌で解説



図10 損失をバケツモデルで解説

損失から標準のろ過速度にした時の水面差を計算し、標準化損失水頭Normalized Head Loss (NHL) という指標を使っていた。私は緩速ろ過の維持管理にはNHL指標を使う方が良いと思った。そこで1992（平成4）年に日本水処理生物学会誌で「緩速ろ過池のろ過閉塞指標としての標準化損失水頭と藻類」として解説をした（図9）。
私は2006（平成18）年から沖縄で実施してきたJICA（国

際協力機構）研修では世界で使われているNHL指標を教える必要がありろ過抵抗と損失の関係をバケツモデルで解説してきた。本連載「その5」（藻の繁殖とろ過継続、2022年2月号）でも解説し（図10）。
私はろ過池の藻の発達とろ過抵抗の関係がどうなっているのかを調べていた。ろ過池の目詰まり度をろ過池のろ過流量を調節する調節弁にある損失計とろ過速度計の値を調べた（図11）。染屋浄水場では標準ろ過速度（1日に4・8ト）でろ過した場合は1時間に156ト（1日に3744立方メートル）のろ過水ができる。損失の数値はろ過

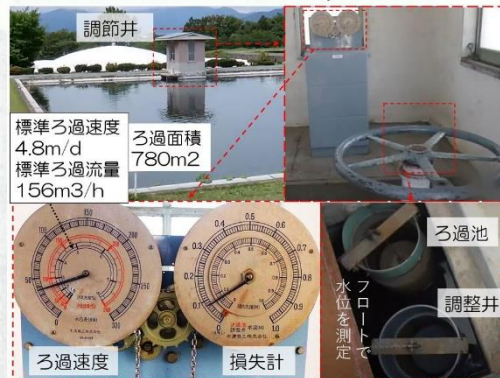


図11 損失とろ過速度はフロートで計測

流速（ろ過流量）に比例するので、標準ろ過速度でろ過した場合の標準化損失水頭を計算した（図12）。私たちは浄水場のろ過池調節弁の数値から標準化損失水頭を計算した（図13）。
染屋浄水場にはろ過面積780平方メートルのろ過池が13池もある。浄水場では浄水場全体の浄水量（ろ過水量）に注目して維持管理をしていた。そこでろ過池毎のろ過水量に注目していた。日本の指針には世界で使われているろ過抵抗指標の標準化損失水頭に関する記述が無いのでろ過抵抗を正確に把握してなかった。

損失は流速に比例するのをバケツで示した。

日本以外は、標準化損失水頭という指標で、ろ過抵抗を評価していた。

染屋浄水場のろ過池でのろ過池の調子を調べるのにも、バルブ操作でも、電気を使っていない。停電対策は必要ない。

標準化損失水頭は、簡単に計算できる。

3 染屋浄水場で夏と冬でろ過抵抗の変化を比べた

染屋浄水場の緩速ろ過池で、夏と冬でろ過抵抗に伴う目詰まり度（ろ過抵抗）を標準化損失水頭という指標で比べた（図14）。またろ過池への流入水濁度とろ過速度からろ過面への濁度負荷（積算）量を計算し、その積算量とろ過日数との関係も調べた（図15）。

水温が低く生物活性が悪い冬

損失cm (ΔH) はろ過速度（ろ過流量、 V ）に比例する。 $\Delta H = kV$

標準のろ過速度 (V_n : 0.2m/h、4.8m/d: 標準ろ過流量) でろ過した場合の値を標準化損失水頭 (NHL: H_n) と言う。実測の損失cm (ΔH) から標準化損失水頭に換算。

染屋浄水場の780m²のろ過池の標準ろ過流量 V_n は156m³/h (=780m²×0.2m/h)。

$$H_n = (\Delta H \times V_n) \div V$$

図12 標準化損失水頭の計算

6月12日 金曜日 戸過池調節表													
1992年	池別	染屋浄水場											
項目		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
使用日数	日	12	14	23	10	7	6	16	11	0	3	8	1
ろ過予定日													
ろ過流量 m ³ /h		180	130	150	110	150	120	150	120	50	90	180	70
損失水頭 cm		12	15	14	9	3	6	27	15	7	4	20	4
次回落水													

V_n : 標準ろ過流量 (156m³/h)
 $H_n = (\Delta H \times V_n) \div V$
 H_n (NHL) cm 10.4 180 14.6 12.8 3.1 7.8 28.1 19.5 21.8 6.9 17.3 8.9

図13 標準化損失水頭 (H_n : NHL) 計算例

(1・2月) は、直ぐにろ過抵抗は上昇し目詰まりをした。水温が高い夏はろ過を続けてもろ過抵抗は増えていかなかった。砂層の目詰まり度（ろ過抵抗）は水の粘性に関係し、水温が低い時期は粘性が大きく、ろ過抵抗は注意深く見ると夏はろ過抵抗を続け、削り取り近くになると急に抵抗が増えている。

た。急にろ過抵抗が増える原因は削り取り作業日は水をつくれないうとしてろ過速度を急に早くする管理をしていたからと思われた。ろ過速度を急に早くすると砂面上部の砂や藻類被膜にそとと付着していた細かな濁りが外れて砂層内に落ち込んだと考えた。細かな濁りが砂の隙間に入り込み砂と砂との隙間が狭くなり実際に抵抗が増えたと考えられた。

また削り取り直後のろ過抵抗にも注目した。水温が低い時期は、最初は抵抗が大きいがる過を始めるに抵抗が小さくなった。その後、急に抵抗が増していった。水温が高い時期は削り取り直後でも抵抗が大きくなっていった。この抵抗変化も水温と水の粘性に関係していた。

削り取り時は水が砂層上部になく、砂層内に空気の気泡が入る。水温が低いと水の粘性が大きく、気泡が外れて無くなるのに時間がかかると思われた。水温が高い時は、粘性が小さいので気泡が外れやすいと考えられた。この様なろ過池の状態を把握するには抵抗指標と

冬と夏で抵抗が異なる。水温に關係。

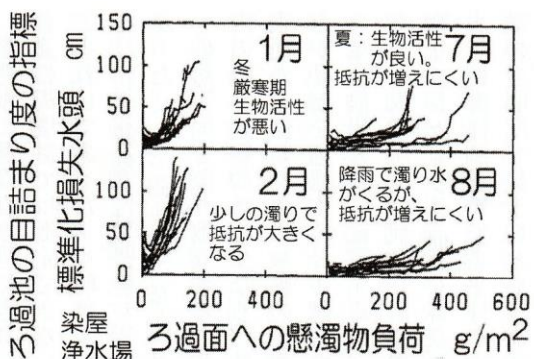


図15 夏と冬の濁り負荷量と標準化損失水頭

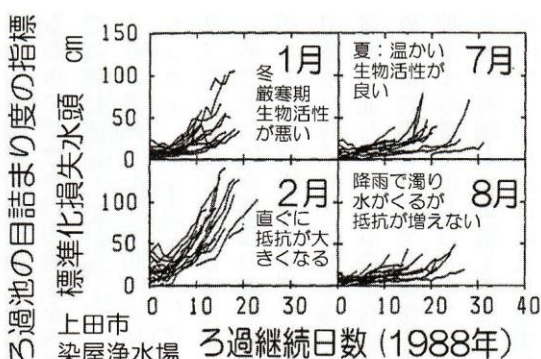


図14 夏と冬のろ過日数と標準化損失水頭

夏は、濁りがきても、抵抗は上がらない。目詰まりしにくい。生物活性と、水の粘性に關係している。

ろ過速度と見かけの損失で簡単に計算できる。

まだ、クリプト原虫問題が無かった時、ろ過水がどれだけきれいかを、海洋調査での濁り測定の方法を使って調べた。

ポンプで強引にろ過をしないと、大量の水をろ過できる。

しての標準化損失水頭で表すのが良かった。

日本各地の浄水場を見学するところ過抵抗が増えたから削り取りをしているのでなく、ろ過継続日数で削り取り作業をしている浄水場が多かった。上田市の冬の様に気温が低くならない地域では一年中生物活性が良い。この様な地域ではろ過抵抗が増えないのでろ過抵抗を調べる必用が無かった。

実際の浄水場ではろ過速度を変えることがある。浄水場の現場では緩速ろ過池の見かけの損失、ろ過池の水面とろ過後の水面の差（この損失はろ過速度に比例し、ろ過速度の指標）をろ過抵抗の指標と誤解している場合もあった。

4 藻類が増えだすところろ過水濁度はスーパークリーンになる

私は藻の繁殖が浄化に役立つのを証明しようとし砂層面での藻の発達とろ過水の濁度の関係を調べた。調査は染屋浄水場で1993（平成5）年8月から9月にかけて行った。調査結果を日本水処理生物学会誌に1997（平成9）年

Jap. Jour. Water Treatment Biology Vol.33 No.4.179-186 1997

Inconsiderable Amount of Phytoplankton Leakage by Algal Mat Peeling from a Slow Sand Filter

N. Nakamoto, N. Iwase, K. Nozaki and M. Sakai

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jswtb/1964/33/4/33_4_179/_pdf/-char/en

藻類被膜採取

Sampling Bottle

Handy Pump

藻類被膜採取器

Algal Mat Sampler

ろ過池
砂層

Filtrate

Slow Sand Filter

緩速ろ過池での藻の発達とろ過水に漏れる藻類

中本・岩瀬・野崎・坂井 1997

日本水処理生物学会誌

調節井

ろ過水

Regulating Well

ビニール
チューブ

Vinyl Tube

サイホン状態
で自然流下

ろ過器

In-line
Filter Holder

Container

コンテナ

図16 藻の発達とろ過水濁度を学会誌発表

に発表した（図16）。ろ過継続中のろ過池の砂面上の藻類被膜は図1（前出）の道具を使った。ろ過継続が長いろ過池も

あった。砂面上の藻類量は削り取り後、約10日間は対数増加をした。その後、砂面上の藻類量は、ほぼ同じか、少し減少した（図17）。

ろ過水の濁度は本当にきれいで普通の濁度計では測定できないほどきれいであった。当時は現在の様に精密濁度計は設置していなかった。

砂層表面を削り取りすると砂層内の微小動物の数も少なく、砂層表面から藻類や藻類被膜の破片などが砂層を通過すると予想した。

私は信州大学に就職する前、都立大学の大学院生時代は、海洋の植物プランクトンを研究していた。

当時は海洋調査船で太平洋や大西洋の透明度で数十メートルという海洋でプランクトン調査もしていた。海水中の極微量の濁り濃度を測定するために、数十リットルの海水をろ過器でろ紙に濃縮して計測していた。ろ紙に濃縮した懸濁物中の植物プランクトンの葉緑体中のクロロフィル色素量を定量分析した。

そこで私はろ過池の調節井からビニール管を使って落差を利用して導水しサイホン状態を保ってろ過器を通し、ろ過水中に含まれる極微量の濁りをガラス繊維ろ紙に捕集するようにした。ポンプを使うと、ろ紙上に集積した濁りがろ紙内に入り込み目詰まりをするの

海洋調査の経験が役だった。

藻は、細胞分裂で増える。増え方を、対数目盛で表すのが良い。最初の10日間は、盛んに増えるが、その後、生物量はほぼ一定になる。捕食動物も増えだした。

ろ過水にできる藻類の破片は、最初は、多いが、急に少なくなる。

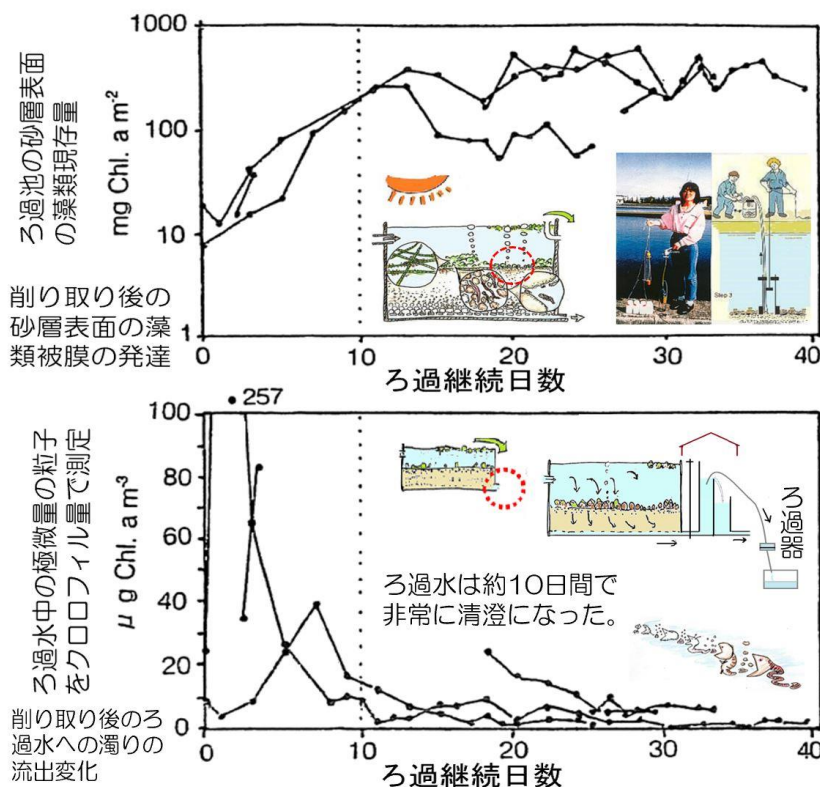


図17 藻の発達とろ過水濁度

で、そつと流して大量の水をろ過するようにした。この方法は海洋調査では大量の海水をろ過するのに普通に使っていた。

ろ過水は約10日間で非常に清澄になった。

浄水濁度基準は2度、クリプト対策で0.1度以下を目標に。



図18 ろ過水濁度は0.000度

湖や摩周湖の水より濁りが少ない水だった。砂面上で藻が増えると砂層上部で微小生物が増え砂層内に入ってくる細かな濁りを徹底的に捕捉しようとしていた。その後、染屋浄水場にも精密濁度計が設置された。設置された精密濁度計の数値は常に0・000度を示していた(図18)。

日本の濁度基準は2度(1リットル中2ミリの濁り濃度相当)で凝集剤を使う急速ろ過のろ過水は逆洗行程があるので細菌が通過するが最後に塩素で殺菌をするから安全という考えであった。1996(平成8)年6月に埼玉県越生町の急速ろ過の浄水場でクリプト原虫による大規模集団下痢事故があった。この事故以降、アメリカの濁度基準を参考にし、日本の厚労省は2000年(平成12)年に制定した「水道施設の技術的基準を定める省令」で「ろ過水濁度0・1度以下を維持すること」とされた。その結果、各地の浄水場にも精密濁度計が導入された。

5 浄化の鍵は藻類でなく微小動物の活躍だった

緩速ろ過池の砂層表面を削り取りをする。日射が当たる新しい砂面では光合成ができる小さな藻が繁殖する。河床では礫表面に付着して繁殖する藻類が優占する。染屋浄水場は河川表流水が水源なので削り取り直後は河川から流入してきた付着藻類が優占していた。その後ろ過池は上から下への流れがあるので糸状で立体的に繁殖できる糸状藻類の繁殖に適していた(図19)。染屋浄水場では糸状珪藻メロシラが優占的に繁殖した。砂面の藻類被膜を顕微鏡で観察すると流入してきた細かな濁りが糸状藻類に絡みついていた。砂面では光合成で生じた酸素の

砂層で微小生物が活躍すると、スーパークリーンの水になった。生物が反応する物質を徹底的に分解するので、ろ過水は、刺激がなく、甘く感ずる水になった。

ろ過水濁度は、海洋の透明度で、数十倍の外洋の水以下になった。

環境により、その環境に適した生物が繁殖

藻類被膜が剥離する事は、その下で微小動物が活躍した証拠

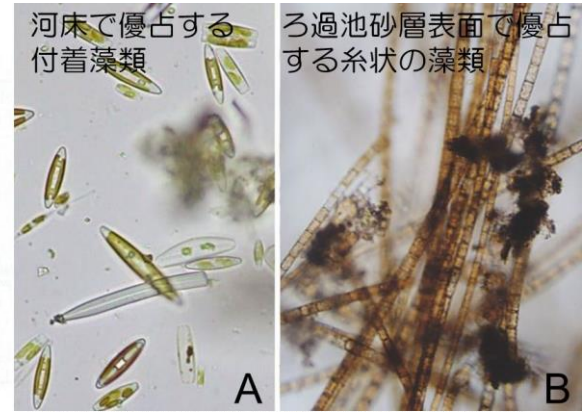


図19 河床とろ過池で繁殖する藻の違い



図20 光合成が盛んだと藻類膜は剥離する

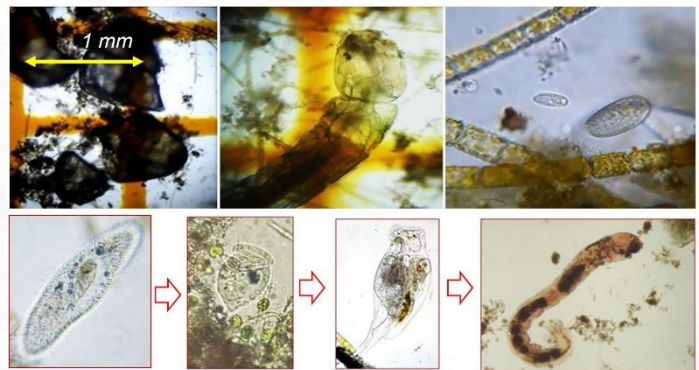


図21 砂層で活躍する生物

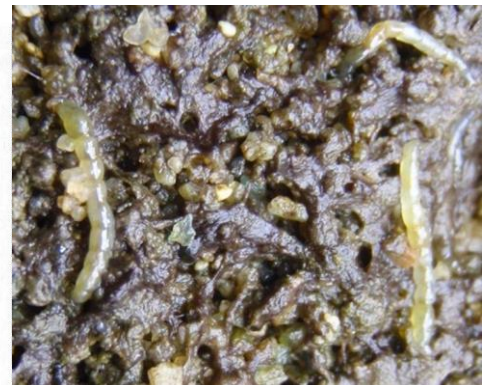


図22 藻を食べるユスリカ幼虫

気泡の浮力で藻類被膜は浮き上がっていた(図20)。浮き上がった剥離面では直ぐに新たな藻類が繁殖していた。

緩速ろ過の解説では砂面の藻類被膜が剥離するのは流入してくる濁りが剥離面から砂層内に入りやすいので良くないとの記述がある。剥離が生じ出す時期は砂層表面下で微小動物が繁殖しだす時期でもある。砂層表面直下では微小動物が砂層内に入り込んでくる餌を待ち構え、直ぐに捕捉してしまう(図21)。

削り取り時に砂面を良く観察す

剥離した場所には、直ぐに、藻が繁殖。砂面が剥離するのは生物活性が良い証拠。

ると多数のユスリカ幼虫を観察することができ(図22)。緩速ろ過処理では藻類や微小動物が活躍して浄化をしていた。微小動物が餌を求め、必死で砂面近くに集まる(図23)。その下は微小動物の餌が無いので砂がきれいである。

私は海洋やダム湖での植物プランクトンの研究者だった。上田市の緩速ろ過池で糸状になる珪藻メロシラが繁殖しだすとろ過池の調子が良くなると教わり、緩速ろ過池での藻の役割研究を始めた。私は糸状珪藻メロシラの役割を強調し過ぎたと反省している。また糸

状珪藻メロシラは水温が低い上田市の様な地域で良く観察されるが、水温が高い地域やろ過継続が長い緩速ろ過池では糸状になる緑藻が優占していた。

緩速ろ過池で繁殖する藻は砂層上部で活躍する微小動物が活躍しやすくするための補助者であった。病原菌を除いたり濁りを分解するのは砂層上部で活躍する微小動物群集の食物連鎖だった。

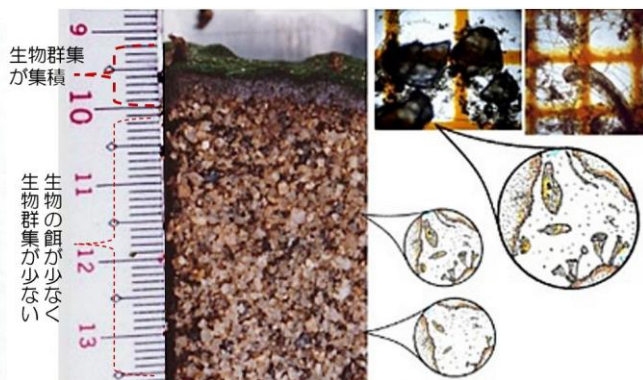


図23 生物群集は餌を求めて活躍する

生物は、餌がくる砂面近くで活躍。生物は餌を求め集まる。深いところには餌がないので、生物がいない。

大きな鳥居松沈殿池があるので、鍋屋上野浄水場にはろ過池しかない。

6 水源の違いによる藻類被膜の発達を比べる

私は上田市の染屋浄水場と高崎市の若田浄水場での藻類被膜の発達を調べたが、両浄水場とも水源は河川表流水であった。比較のためにダム湖や貯水池を水源とする浄水場での藻の発達状況と比べたかった。ろ過池の数が多いと一回の調査でろ過継続日数との関係が分かるのでろ過池の数が多い浄水場で調べたかった。

私は海洋調査やブラジルでの湖沼調査の関係で名古屋大学に何度も行く機会があった。大学近くには1914（大正3）年9月に給水開始した大きな鍋屋上野浄水場があり、大きなろ過池が14池もあるのを知っていた（図24）。この浄水場は木曽川の表流水を犬山市で取水していた。鍋屋上野浄水場の緩速ろ過池への濁り負荷を低減させるために春日井市に建設した大きな鳥居松沈殿池があった（図25）。容量が大きく滞留時間は112日で貯水池の役割もしていた（図26）。

1993（平成5）年の鍋屋上



図24 鍋屋上野浄水場

野浄水場のパンフには「鳥居松沈殿池は緩速系の前処理のために設置された普通沈殿池」と書かれてあった（図27）。

上田から名古屋まで約250kmもあるが幸い高速道路が完成していたので自家用車に学生を乗せて数時間で行くことができた。ろ過池の削り取り作業時、ろ過池に入り砂面の状態も調べたかった。

ろ過池砂面の削り取り作業は朝9時から始めるので、その前に浄水場に着くようにした。そこで朝5時に上田を出発した。ろ過継続中の全てのろ過池で藻類被膜を採取し午後3時には上田に戻り、その



図25 鳥居松沈殿池

日の内に採取試料の処理をした。調査は1994（平成6）年4月から1996（平成8）年にかけて行った。

鍋屋上野浄水場の海拔高度は20mである。比較のために河川表流水水源の上田市の染屋浄水場（海拔高度500m）と高崎市若田浄水場（海拔高度150m）でも調査して日本水処理生物学会誌に発表した（図28）。

海拔高度が高い上田市の染屋浄



図26 鍋屋上野には急速ろ過施設も併設された

(1) 鳥居松沈殿池

この沈殿池は、犬山取水場と鍋屋上野浄水場の中間に位置し、鍋屋上野浄水場の緩速系の前処理のために設置された普通沈殿池です。原水の高濁時には、鳥居松沈殿池流入前の導水管に凝集用薬品（硫酸バンド、カセイソーダ）を注入し、凝集沈殿処理をしています。

また、この沈殿池は容量が大きいので、原水を貯留する役割も果たしています。

図27 高濁度時は凝集剤を添加

水場がろ過池流入水の水温は一番低かった（図29）。気温が下がり始める8月から急に下がりだし、最低水温は若田浄水場と鍋屋上野浄水場は1月で、染屋浄水場では上

滞留時間が長く、沈殿池で植物プランクトンが繁殖。

濁り水対策で、沈殿池で、凝集剤を使うのが問題。凝集剤は、ろ過池で活躍する生物が嫌がる。

沈殿池とろ過池での生物の関係を調べた。

河川を水源とする緩速ろ過池と貯水池を水源とする緩速ろ過池の藻類被膜の発達の違い
中本・池田・田口・山本・野崎 1997

日本水処理
生物学会誌
22(2):81-
89, 1997

高崎市
若田浄水場
上田市
染屋浄水場

名古屋市
鍋屋上野
浄水場

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jswtb1964/33/2/33_2_81_pdf

図28 河川水源と貯水池水源の違いを比べた

流入水中のプランクトンは鍋屋上野だけが秋に増えていた。

湖沼学の本では植物プランクトンの季節変化は水の循環と関連して説明されていた。鳥居松沈殿池での植物プランクトンの繁殖は湖沼での植物プランクトンの季節変化と似ていた。教科書では夏の成層期は表層では多様な植物プランクトンが増え(図31)、春先と秋の水の循環期は珪藻プランクトンが増える(図32)と書かれていた(図33)。

ろ過継続日数に対する砂層表面の藻類現存量(クロロフィル量)

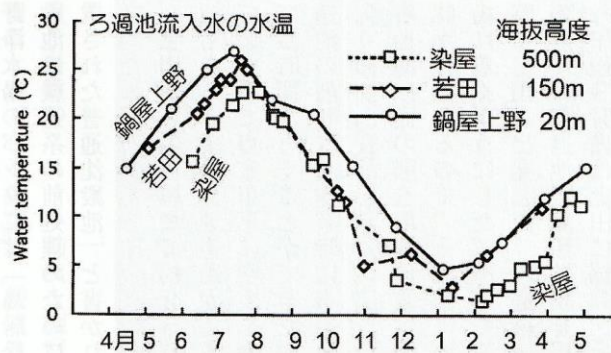


図29 ろ過池流入水温の季節変化

の関係それぞれ浄水場について季節毎に片対数グラフで表した(図33)。染屋浄水場と若田浄水場では砂面を削り取り後は直ぐに増え、10〜20日でピークになった。日射量と水温が高い夏は、藻類量が倍になる日数(倍化日数)は2日以下で、冬でも14日であった。鍋屋上野浄水場での砂面上の藻類量は削り取り直後からかなりの量があり、その増加の割合が河川水源のろ過池と比べると極端に遅

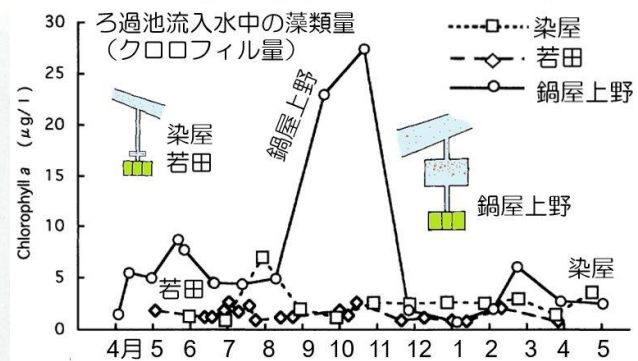
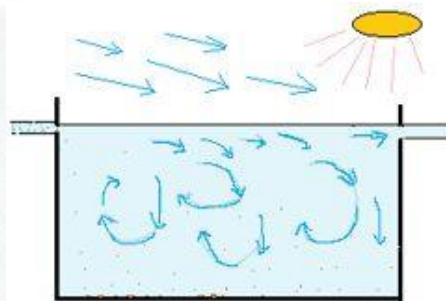


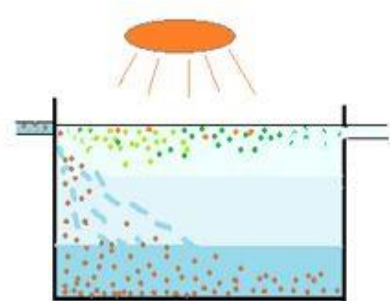
図30 ろ過池流入水中の藻類量の季節変化

かった。春と夏は日射量が多く生物活性が良いと思われる期間でも藻類が増える速度(倍化日数)は染屋浄水場や若田浄水場より極端に遅く、春は70日、夏は81日であ



秋から冬：水の上下循環期

図32 秋から冬の沈殿池



春から夏：水の成層期

図31 春から夏の沈殿池

滞留時間が長い沈殿池が、湖での水の循環と植物プランクトンの繁殖と似ていた。

鍋屋上野だけが、ろ過池での藻の繁殖が悪かった。

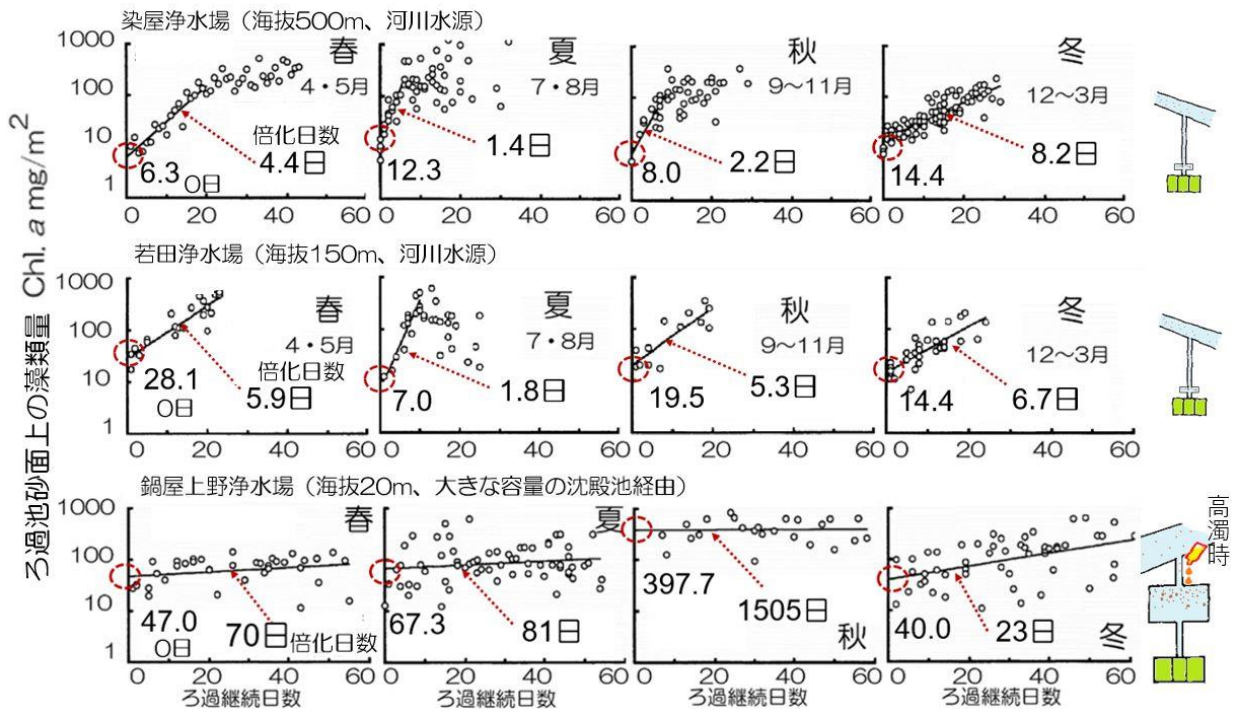


図33 河川水源の染屋浄水場と若田浄水場と大きな容量の沈殿池経由での鍋屋上野浄水場のろ過池の砂面上の藻の発達速度 (倍化日数) の違いとろ過池砂面の削り取り時 (ろ過継続日数0日) の砂面上の藻類量 (砂層内への侵入藻類量、Chl. a mg/m²) の違い

た。鳥居松沈殿池で植物プランクトンが繁殖する秋、ろ過池の藻の増え方 (倍化日数) は極端に遅く1500日で、ほとんど増えていなかった。水温が高く捕食動物の活性が良いと考えられた。一方、冬の倍化日数は23日で、その期間は砂面で糸状珪藻メロシラが繁殖していた。

ろ過継続に伴う藻類量の増え方から削り取り時 (ろ過継続0日目) の藻類量を計算した。染屋浄水場と若田浄水場でのろ過継続0日目の砂面の藻類量は鍋屋上野浄水場より極端に少なかった。

砂面の削り取りの厚みは、どの浄水場でも余り変わらないと思われる。ろ過継続0日目の藻類量は、砂層内に入り込んでいる藻類 (藻類の死骸を含む) 量と考えられる。河川水源で生物活性が良い浄水場の方が、藻類繁殖が良い浄水場の方が砂層内へ入り込む濁りが多いようであった。

砂面の藻類の繁殖には日射量と栄養塩が関係している。そこで、ろ過池流入水中の硝酸態窒素濃度 (図34) とリン酸態リンの濃度 (図35) を調べた。染屋浄水場と若田

浄水場の集水域は小さいが農耕地がかなりある。鍋屋上野浄水場の取水地点での集水面積は大きく、長野県の山地の割合が大きい。流入水中の硝酸態窒素濃度に関して季節変化は小さいが染屋と若田と比べると鍋屋上野浄水場ではかなり少なかった。

リン酸態リンの濃度の変化では季節変化があった。染屋と若田では農耕作業の季節は、濃度が高く、冬は濃度が低かった。農耕地に施肥された肥料成分が農耕地から流

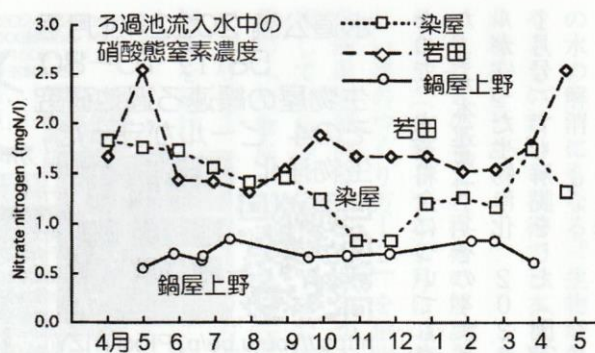


図34 ろ過池流入水中の硝酸態窒素の変化

鍋屋上野の流入水中の栄養塩の窒素濃度が低かった。
 緩速ろ過は、生物群集が活発に活躍した方が良さそうだった。

鍋屋上野の流入水中の栄養塩のリン濃度も低かった。

出するからと考えている。
鍋屋上野浄水場への流入水中のリン酸態リンの濃度も少なく、その変化は夏から秋にかけて少なく、日射量が多く生物活性が良い真夏は極端に少なくなっていた。
鍋屋上野浄水場で夏にリン酸態リン濃度が少なくなるのは滞留日数が長い鳥居松沈殿池で植物プランクトンが増えてリンを消費してしまうからと考えられた(図31を参照)。

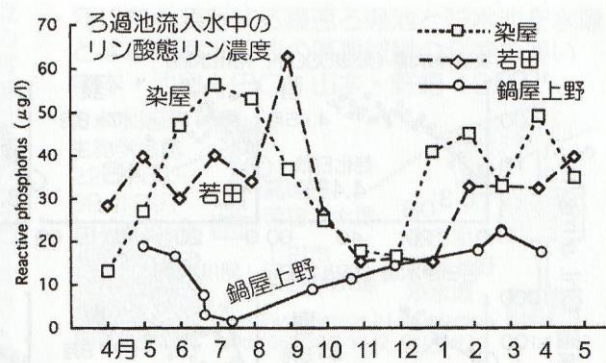


図35 ろ過池流入水中のリン酸態リンの変化

生物活性が悪い冬のリン酸態リン濃度は増えていた。この時期は鳥居松沈殿池での植物プランクトンの繁殖も悪いので木曾川の河川水中の栄養塩がそのまま鍋屋上野浄水場へ流入し、ろ過池で糸状珪藻メロシラが繁殖したと推定した。

7 生物処理では少しでも生物群集が嫌がることをしてはいけない

鍋屋上野浄水場の砂面の藻類繁殖に関して、少し気になる事がある。1993(平成5)年の鍋屋上野浄水場のパンフに「高濁度水が流入する時は凝集剤を注入する」と書かれていた(図27、前出)。確かめないといけないが、鳥居松沈殿池ができた時は、沈殿池で凝集剤を入れてはいなかったと思う。鍋屋上野浄水場に薬品処理の急速ろ過が併設されてからかと思う。

急に急速ろ過が開発されたアメリカでは藻の繁殖を嫌われ、硫酸銅などの殺藻剤を使うのが普通であった。上田市で水道水が不味くなった原因は着水井での殺藻剤添加であった。生物群集が嫌がることをし、砂層内の微小生物が活躍できず臭い物質が通過していた。殺藻剤添加を中止したら藻が繁殖したが、ろ過水がおいしくなった。生物群集が活躍し浄化が進んだ。

8 ビールが守った生物浄化

私は高崎市の浄水場を1991(平成3)年から調査しだした。当時の場長から「濁り対策で凝集剤を添加すると水質が悪くなり、キリンビール工場でろ過水を使ってくれなかった」と教わった。明治時代に建設された剣崎浄水場では河川水を取水し沈殿池だけで凝集剤を使っていなかった。そこで台風などの極端な濁り水が浄水場に入ってきたときも沈殿池だけで凝集剤を添加しないようにした。その結果、キリンビール工場でろ過水を醸造に使ってくれるようになり、その後、一切、凝集剤を使っていなかった。

その後、渋沢栄一財団から機関誌「青淵(せいえん)」に原稿依頼があり、高崎市のキリンビール工場と若田浄水場の浄化処理について2007(平成19)年1月号に書かせてもらった(図36)。渋沢栄一は日本の多くの企業を育てて人

栄養塩不足なら、肥料を添加してみた。

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

<https://youtu.be/p2PKxIN1IZY>

図37 ビールが守った生物浄化

青淵(せいえん) 第694号: 14-16. 渋沢栄一財団機関誌
平成19(2007)年1月号

青淵
せいえん

ビールが守ったおいしい水

信州大学環境学部長 中本 信忠

<https://www.cwsc.or.jp/files/pdf/200701shibusawa.docx.pdf>

図36 渋沢栄一財団機関誌

濁り対策で凝集剤を添加すると、生物群集が活躍できず、水質が悪くなった。凝集剤添加を止めたら、生物が活躍し、水質が良くなった。キリンビール工場のお蔭だ。

湖で、風が吹き、低層の酸素不足の水を取水すると、ろ過池の生物が、嫌がって逃げ出す。

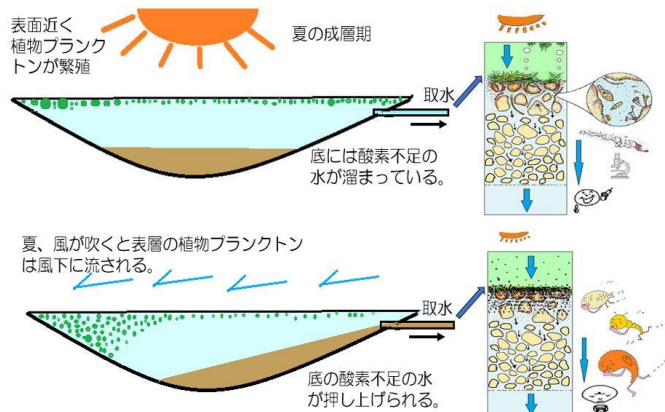


図38 風が吹き酸欠の水を取水

9 緩速ろ過は生物が嫌がる事をしてはいけない

琵琶湖から取水している浄水場で、緩速ろ過では砂層を生物が通過するというのを聞いた。現地に行き、どのような場合に生物が通過するかを尋ねたところ、風が吹いて湖底近くの酸素不足の水が沿岸に持ち上がり、その酸素不足の水を取水した場合であった(図38)。通常は表層近くの水を取水し、ろ過池では微小動物が餌として捕捉して分解をしている。風が

吹いて低層の水が沿岸に持ち上がり、還元的な物質が入っている水を取水するところ過池で活躍している微小動物が必死で還元物質から避けて逃げる。その方向はろ過水の方であった。

諏訪湖でも夏に風が吹くと、底の酸素不足の水(貧酸素水塊)が水面近くに移動して、諏訪湖内に浮かしている生け簀の魚が死ぬことがあり、スス水現象による言われていた。また東京湾や瀬戸内海でも青潮と呼ばれる、生け簀の魚などが死ぬ現象がある。これも低層の酸素不足の水(貧酸素水塊)が風などで、水面近くに移動する現象に由来する。

緩速ろ過処理は生物群集の活躍による浄化である。砂層上で繁殖する藻は日射量と栄養塩が多い方がよい。砂層内では砂層上から砂層内に入ってくる濁りなどを捕捉し、分解する微小な生物群集が活躍している。これらの微小生物は、溶存酸素がある水中で砂と砂の間に活躍し餌を求めて砂層表面近くに移動する。そこで餌を待ち構えている。しかしこれらの生物群集が苦手の薬品や酸素不足で生じた

緩速ろ過は、生物の立場になって考えるのが基本。

還元物質がくると、嫌がって必死で逃げる。その方向は水がくる方向でなく、砂層の下の方、ろ過した水の方である。生物群集が逃げ回ると砂層内が汚れてしまう。

私は緩速ろ過池の維持管理ではろ過池で活躍する生物が少しでも嫌がることを生じないようにすることが鉄則と思っている。緩速ろ過Slow Sand Filterという用語では、生物群集の活躍をイメージできない。緩速ろ過という用語では細かな砂でゆっくりと機械的に砂ろ過をすれば良いと思われる。う。

細菌などを除けるのは顕微鏡で見ないと気づかない微小な生物群集の活躍で食物連鎖が鍵だった。

生物群集の活躍の理解が必要だった。そこで生物群集の活躍をイメージさせるために2004(平成16)年に生物浄化法 Ecological Purification System と言いついた。緩速ろ過は一見、簡単な技術みたいであるが、奥が深かった。

薬を使わない濁り水対策として1980年代に開発された上向流粗ろ過を多段にする事で酸素不足

の水の解消にもなる。生物群集にやさしい新しい技術で日本でも是非導入をしたい。

これらの考えと技術の解説を2021(令和3)年2月に『おいしい水のつくり方―2』を信州大学繊維学部同窓会の千曲会から出版してもらった(図39)。また本連載の「生物屋の緩速ろ過池研究」で2021(令和3)年9月から解説を続けている。



図39 生物浄化法の解説本

日本で、唯一の緩速ろ過の解説本。手に取って、見て下さい。信州大学繊維学部同窓会の千曲会から出版してもらいました。