

■理屈でなく、おいしい水を飲みたい。こつちの水は甘いぞ。

ビールが守った現代に通用する理想的な古い技術(2) 省エネ技術でも注目したい生物浄化の緩速ろ過

中本 信忠

(なかもと のぶただ II 信州大学繊維学部応用生物科学科教授)

6. 名前が悪いので誤解されてきた

緩速ろ過処理はゆっくりの砂ろ過処理と言われ、細かな砂で機械的に濁りを除くことであると考え名前がつけられた。

しかし、事実は、砂の間で活躍する微小動物が主役であり、機械的なろ過でなく、生物群集による濁りの捕捉と分解であった。

バングラデッシュでの砒素で汚染した地下水を緩速ろ過処理で除こうと浄化施設をつくりにかけた時である。バングラデッシュのジョソールで生物浄化の仕組みを解説した。リーダーの川原一之さんに、「緩速ろ過処理という言葉には、生物群集の活躍を意味することを表していないので、名前を変える必要がある」と言われた(図38、39)。

6.1 細かな砂は必要ない

日本の緩速ろ過用の砂の粒径は、英国の緩速ろ過による砂の粒径を参考にしている。実際にテムズ水道の浄水場でかけて、砂を見ると、大きさがデタラメで、砂の粒径が大きかった。しかし、アメリカに行き、何ヶ所かの緩速ろ過池を見学したところ、どこかの浄水場でも砂が細かった。

英国では、生物群集による浄化という考えがあり、砂の大きさに関し余り重要と考えていなかった。しかし、アメリカは、砂による機械的な篩い分け作用が主と考えて細かな砂を用いていた(図40、41)。

どんなに細かな砂でも、機械的な篩い作用だけでは、細菌やウイルスを除去できない。砂層での間隙を考えると細菌やウイルスの大きさの粒子の除去は、篩

い作用では説明できない。砂層上部で活躍する微小生物群集による濁りの捕捉と分解作用でろ過水は清澄な水になる(図42、43)。

濁りの除去は砂の大きさに関係なく、微小動物が砂層で安心して活躍できることが必須である。

6.2 短時間の濁り除去

ベルリンで100年前にわかっていたことだが、砂層上部の細菌数を調べたら、砂層表面から1インチ(25センチ)以内に大部分で、深いところには、細菌はほとんどいない(図44)。細菌分布の様子から、汚れている砂は、夏は薄く、冬は深くまで変色し汚れていた。ろ過池の水中には夏は藻の繁殖が凄く、冬は少ない。水中の汚れと砂の汚れは逆の関係であった。砂の汚れは水温が高いと少なく、水温

が低いと深くまで汚れる。そこで、この汚れは生物活性に起因すると考えた。

ゆっくりの砂ろ過と考えているが、変色している砂層を通過する時間は数分である。つまり、数分で水中の濁りが除けている。短時間での濁り除去である。瞬間浄化である。機械的な粒子除去である篩い作用なら、濁りの量、水の粘性を考えると、水温が低い冬の方が、砂層表面で機械的に捕捉され、濁りが多く、水の粘性が小さい夏は、砂層深くまで、浸透しないといけない。しかし、事実は、逆である。

動物は、口に入るものは何でも口に入る。消化できるものでも消化できないものでも、とりあえず口に入れてしまう。これが、濁り除去の仕組みである。この濁り除去の主役は、砂層の間で活躍している微小動物である。砂層内では採食



図 39. バングラデッシュのジョソールの公衆衛生局の事務所の中庭に、生物浄化法のモデルを作成した。池の水を汲み上げて浄化する。停電も頻発するし、電気代がもったいないから、3つの原水貯留槽、上向き粗ろ過槽が2槽、最後が緩速ろ過槽。



図 38. バングラデッシュで、アジアヒ素ネットワークで活躍している川原一之さん (JAMP 通信より)。



図 41. アメリカのオレゴンの緩速ろ過の研修で、緩速ろ過池を見て驚いた。周囲の壁は、まるで水田やため池みたい。水深も浅く、周囲は土手のまま。砂は日本の標準より細かった。アメリカは、急速ろ過の本場。緩速ろ過は、細かな砂での機械的ろ過に大きく期待しているようだ。



図 40. 英国テムズ水道のアッシュフォードコモン浄水場の洗砂後の砂の山。近くに行くと、緩速ろ過の砂は、日本のより粗く大きかった。しかも、砂はそんなに均一でない。緩速ろ過処理は、砂でのろ過でなく、砂の表面、砂の間の細菌と微小動物が活躍して浄化する。砂の大きさは関係なかった。



図 43. 濁りという懸濁物質は、砂や礫の間で生息している微小動物の活躍で除かれる。砂や礫でのろ過でなく、砂の間で活躍する微小動物が流されないという安定した環境が重要である。微小動物は酸素がある環境が必要で、藻は水中に酸素を付与する役割があった。

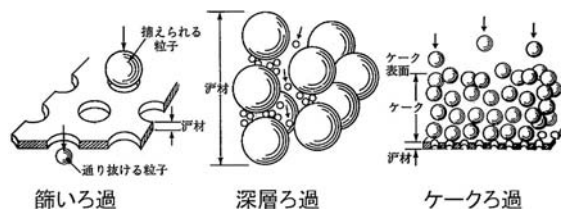


図 42. ろ過に関する3つ概念図 (杉本による)。でも1ミクロンの大きさの細菌が長期間に渡って除去できるという現象をろ過という概念では説明できない。

動物の糞塊の中では細菌が活躍し酸素を消費する。酸素がない嫌気状態で発酵が生じ分解が生じる。酸素がある状態では分解できないような物質まで、嫌気状態で、分解し、高分子物質は低分子になる。二重結合の分子が壊れるのである。

でも1ミクロンの大きさの細菌が長期間に渡って除去できるという現象をろ過という概念では説明できない。

食物連鎖 (グレーディング・フッド・チェーン) が成り立つ。水温が高い夏は、生物活性が高く、濁りを捕捉する能力が大きくなり、砂層は深くまで汚れない (図45)。

6.3 長時間の分解、それは糞塊の中砂層内に侵入した濁りは動物が、餌と一緒に、手当たり次第に食べてしまう。この時間は驚くほど短時間である。しかしながら、微小動物は濁りを食べて、腸管に取り込んでも、濁り物質はほとんど消化されずに、糞塊として排出されてしまう。濁りが腸管を通過する時間は、数分から数時間である。溶けている低分子物質だけが、細胞の中に取り込まれる。砂層の中には原生動物から、線虫、ミミズ、水生昆虫の幼虫などがある。「喰う、喰われる」という食物連鎖が成り立っている。動物が糞塊をだすのは、動物が生息している場所ではなく、上に持ち上げる。だから、上から砂層内に濁りが入ってきて、深いところまで濁りが入らないのは動物が活躍しているからである。



図 45. 砂層上部には、あらゆる大きさの微小生物が活躍し濁りを捕捉し食べてしまう。でもこの濁りは、微小動物の消化管を短時間で通過してしまう。動物は分解者でなく、濁りの捕捉者であり、糞塊製造者である。動物は酸素がないと活躍できない。酸素を付与しているのが藻であった。本当の分解は、糞塊の中で、じっくりと時間をかけて分解、発酵が進む。微小動物による懸濁粒子の短時間の捕捉作業と糞塊の中での微生物による長時間の分解作用が混在しているのが生物浄化の基本である。

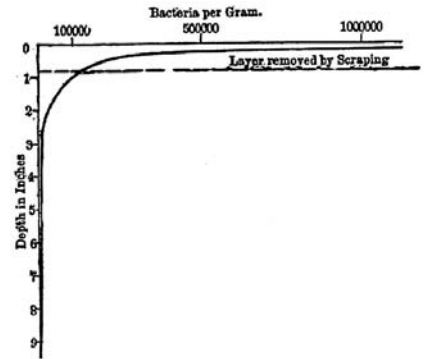


図 44. 砂層上部にいる細菌の分布を調べると、大部分の細菌は、1センチ程度以内にいる。つまり、細菌の餌（栄養）である溶存有機物がその間でほとんど消費され、砂層深くにはほとんど細菌の栄養になる物質は無いという証拠である。この細菌がいる砂層の厚みを水が通過する時間は数分である。つまり数分で溶存の有機物も濁りも除けていることを意味している。瞬間浄化法が生物処理の遅速ろ過である。

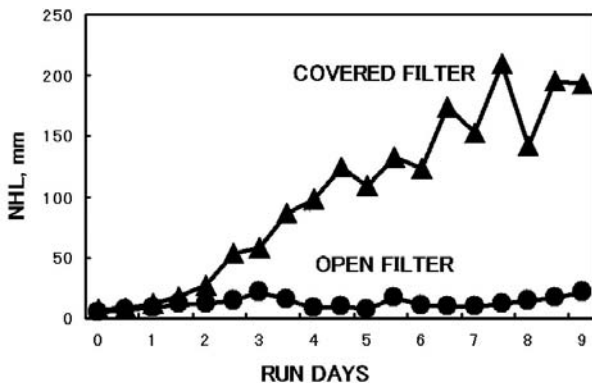


図 47. 藻が繁殖できないモデルでは、だんだんと目詰まりをした。しかし、日が当たるモデルでは、目詰まりしないことが明らかであった。実験を開始し、肉眼で見てわかるような生物が現れない2・3日で、既に、日光の影響が現れた。それは顕微鏡で見ないとわからないような微小な藻と微小動物の活躍によるものである。まず藻が活躍し微小動物の活躍を促進し、細かな濁りを集めたので、目詰まりを回避できたのであろう。



図 46. 河川表流水から大きな濁りを除いたバケツモデルを作って、藻が繁殖する場合と、日が当たらず藻が繁殖できない場合での生物浄化の仕組みを研究した。

源、食物源になら
物のエネルギー
の濁りだけでは、動
である。無機質の
がある環境が必要
動物の活躍で酸素
6.4 藻の役割
濁り捕捉は微小

る。長い時間をか
けて、糞塊の中で、
嫌気発酵状態にな
り分解するのであ
る。低分子になる
と、他の細菌や原
生動物などの栄養
源になり、微小動
物が活躍しだす。
いわゆる腐植食
物連鎖デトライタ
ス・フッド・チェー
ン）が成り立って
いる。緩速ろ過池
の砂層での浄化と
は、短時間の濁り
捕捉と、長時間の
分解作用が共存し
ているのが必須で
ある。好気的環境
で嫌気状態の場が
混在するのが生物
浄化の鍵である。

6.5 ろ過速度は早い方がよい
好気的條件を維持するのが必須であ
る。微小動物が活躍するのが生物浄化の
鍵である。藻が繁殖しスカム排出口から
浮上してきた藻の排出が不完全の場合が
ある。またろ過速度が遅く、ろ過池内
の溶存酸素濃度の日変化が大きくなり、
夜間に、呼吸や分解により砂層内が酸素
不足になることがあった。

ないので、動物は増えることができない。
エネルギー源と栄養源、それに好気的な
生息環境としての酸素供給を、藻が繁殖
することで補填している。
緩速ろ過池では、藻が光合成をし、酸
素を生産し、溶存酸素を増やす役割をし
ている。また動物の餌にもなっている。
動物群集が多いと、濁り捕捉、分解促
進、ろ過閉塞防止に役立つ。藻の繁殖が
悪いことは薬品処理の急速ろ過処理で
問題である（図46、47）。
日本では急速ろ過処理が主流になり、
生物処理を理解していない技術者だけの
水道業界になってしまった。殺藻処理が
良いと誤解し、ろ過池に殺藻剤を添加し
ている浄水施設が多々ある。貯水池で藻
類が繁殖しないように殺藻剤を添加して
いる。貯水池への殺藻剤添加やろ過池で
殺藻処理とは、急速ろ過処理のための対
処方法である。生物処理の緩速ろ過処理
と薬品処理の急速ろ過処理では、対処方
法が根本から違う。



図 48. 英国ロンドンのテムズ水道は、富栄養のテムズ川の水を取水し、貯水池で長期間貯留してから緩速ろ過をしている（グーグルマップより）。

図 49. テムズ水道で一番大きな浄水施設はアッシュフォードコモン浄水場である。大きなろ過池は 32 池もある。全てのろ過池が稼働しているのが本来の緩速ろ過による浄水場であり、32 池中で 1 池だけが削り取り作業中であるのがグーグルマップでわかる。この浄水場には 2 カ所の洗砂場所がある。右上の方の小さなろ過池は、生物学的な急速ろ過処理と言っていた粗ろ過施設である。貯水池で繁殖した藻を予め薬を一切使わないで除くための施設である。



図 53. ろ過池の水深は 1m もなく、砂層面では、糸状珪藻メロシラが繁殖し、光合成により生じた気泡で水面に浮き上がり、越流管から流出していた。糸状緑藻になることもあると言う。削り取りもほとんどしないでも、何も問題がない施設であった。日本各地の簡易水道では、ひっそりと緩速ろ過処理の施設が稼働している。簡易水道より小さな緩速ろ過による施設も多数あるが実態は知られていない。



図 52. S 県には戦前、昭和 7 年に陸軍が作った簡易水道の施設が 75 年間で現役で稼働していて問題がなかった。山の溪流の水を導水し、ろ過池の 4 倍程度の面積の沈殿池、3つの緩速ろ過池である。

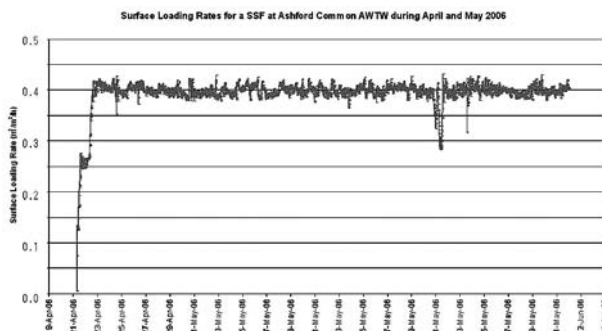


図 50. テムズ水道では、ろ過速度が遅いと、ろ過水中の溶存酸素濃度が低くなり水質が悪くなることがあるので、ろ過速度を倍の 1 時間に 40 cm（1日に 9.6m）にしていた。ろ過速度が速いと水質が良いのを維持できることを実践していた。



図 51. 山の森林の中にある溪流の水はほとんど濁りがなく、きれいな水である。石の上は苔が繁殖している。それは、流速がほとんど変化しない。生物処理の緩速ろ過処理も流速変化がほとんど無いことが大切である。

英国ロンドンの水道水は 100% 緩速ろ過処理でつくられている。テムズ水道で大きな浄水場はアッシュフォードコモン浄水場で、長さ 100 m、幅 30 m という大きな緩速ろ過池が 32 池もある（図 48、49）。このろ過池で糸状藻類が繁殖し、水面に浮上した藻を排出させるスカム口が小さく、排出が不完全であった。そのため、溶存酸素の日変化が大きくなり、ろ過水の溶存酸素濃度が夜明けに少なくなってしまう。

溶存酸素濃度の日変化の幅を小さくするために、これまでの一日に 4.8 m の標準ろ過速度を倍の 9.6 m に上げた（図 50）。その結果、ろ過水の水質は悪くなるのではなく、良くなった。砂層内で溶存酸素が不足することは無くなった。現在で



図 55. 水深が浅く、濁りが無いと底の砂層面では、糸状珪藻メロシラが繁殖しやすい。細胞の大きさが小さいので、細胞が大きな糸状緑藻より光合成活性が良い。細胞が小さいので気泡も絡みやすく、剥離浮上しやすい。



図 57. 水深数センチの浅瀬の礫面には付着藻類が盛んに光合成をしている。その証拠に、気泡がたくさん付いている。



図 59. 礫の間には、糸状珪藻メロシラが繁殖しているのに気づく。



図 54. S 県には、1960 年代に建設した緩速ろ過施設があった。河川表流水を取水し、河川水が濁ると凝集剤を添加してから緩速ろ過処理をする。普通は、河川水は濁ることが少ないので、凝集剤を使用しないでも、長くろ過ができる。ろ過を開始すると糸状珪藻メロシラが繁殖するが、水深が深いので、水圧が高く気泡が生じにくい。そのため、剥離浮上しにくい。そのため、ろ過を続けると糸状緑藻に遷移しやすい。水深が深いので、糸状緑藻も水面に浮きにくく、連続培養状態になりにくかった。砂面の削り取り時に、この藻を取り除く作業が大変とのことである。



図 56. 長野県上田市付近の千曲川の浅瀬は大きな石が多い。その礫面には付着藻類の発達が良い。



図 58. 千曲川上田市付近では、川幅が数百メートルもあり、分流している場所に堰をし、その下流では水が湧いている場所があった。

素不足にしたためである。ゆつくりの砂ろ過という言葉を機械的なろ過と考えるようになったのである。ろ過池と砂層での生物群集の機能を考えると、細かな砂である必要はなく、ろ過速度が早い方がよいことに気づく(図 51)。

6.6 ろ過池水深は浅い方がよい
戦前に建設された緩速ろ過池は、水深は浅く 80 cm 程度から 1 m 程度である。しかし、高度成長期に建設された緩速ろ過池の水深

は、ロンドンの全ての浄水場のろ過速度は、1 日に 9.6 m というろ過速度を標準ろ過速度にしている。ゆつくりとは緩速ろ過池で生物が流されないという意味であり、流速が早い方が酸素供給は良くなり、動物が活躍しやすいことがわかった。東京都水道局の浄水場や砧浄水場でのろ過水の水质が悪くなったのは、水源が悪くなったと解釈された。本当の原因は、ろ過速度を遅くし、酸



図 60. 伏流水が常に湧き出していると、湧き出し口では、糸状珪藻メロシラが目立つつが、糸状緑藻に遷移する様子がわかる。

藻の繁殖が悪いという考えで造られる過池の水深が18mもある浄水場がある(図52～53)。

生物処理の浄化の主役は、動物群集である。動物群集を多くするには、動物の餌が必要である。水深を浅くすることで、藻が光合成をするのに必要な量の日射が砂層表面まで到達する。藻の光合成が盛んだと、酸素を盛んに作り、水中に溶けきれない酸素は気泡になる。底で発達した藻類被膜はその浮力で水面に浮いてくる(図55)。

しかし、水深が深いと底まで十分に光りが到達せず、光合成は盛んにならない。また水圧が高いので、気泡になりにくい。そのため、底で繁殖した藻は浮きにくい。藻が少しばかり繁殖しても、直ぐに動物に食べられてしまい、酸素を付与する藻が繁殖しなくなる。

千曲川の河原に行くと、伏流水が湧き出しているところがある。その場所の水深は浅く光が十分当たり、濁りもないので、光合成をする藻は繁殖しやすい。このような場所では、糸状の珪藻が繁殖しやすい。

針と異なるろ過池があった。それは、目詰まりをしにくくするために、ろ過砂の粒径を、緩速ろ過用の砂でなく、急速ろ過用の砂よりも大きな砂を用いていた。そのため、ろ過継続を1ヶ月以上しても、損失は大きくならず、ろ過閉塞はしなかった(図61、62)。しかし、残念なことに、流入してくる濁りで、砂層上部に汚泥が蓄積すると考えていた。褐色に汚れた砂層を「汚砂」と言い、ろ過継続1ヶ月以内に「鉄取り」作業をしていた。

「鉄取り」作業は、一度に約2から3cmの厚さの「汚砂」を取り除いていた。そのため、水深は1m程度から18mまでと深いろ過池が混在してしまった。糸状藻類などが繁殖しやすい緩速ろ過池での目詰まりは、流入してくる泥などが砂層表面に蓄積すること

6.7 ろ過池水深と生物群集

戦後の高度成長期に建設された浄水場には、河川表流水を取水し、濁り水対策で凝集剤を使用するのが普通である。当時の設計思想は、藻は悪いというのが一般的であった。ろ過池で藻が繁殖しないように、水深を深くするのが良いと考えていた。

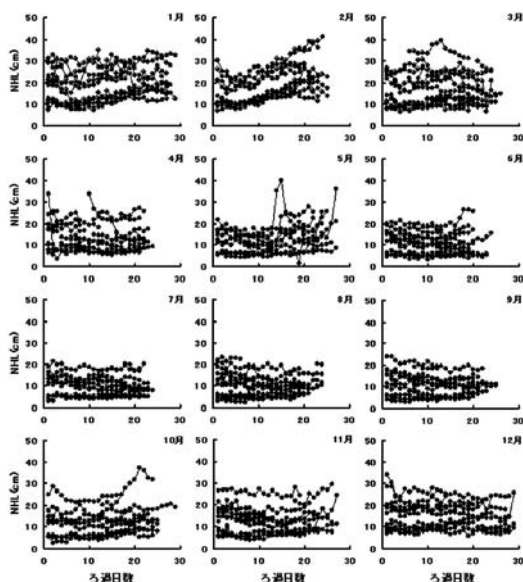


図 62. 損失水頭は、ろ過速度を上げると大きくなる。そこで日本の標準のろ過速度 (4.8m/d) でろ過した場合の値に換算してみた。その結果、この浄水場では、ろ過継続を長くしてもろ過抵抗は大きくならず、水温が高い時期は、逆に、抵抗は小さくなるようであった。つまり、この浄水場では、もっと長くろ過継続してもろ過閉塞の心配はないことがわかる。

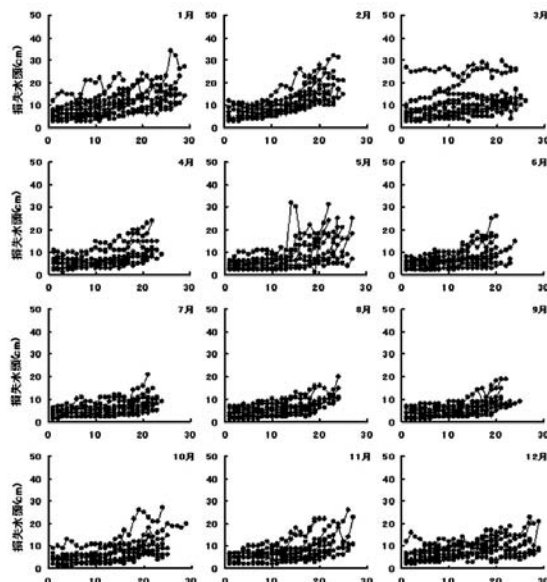


図 61. ろ過継続に伴う損失水頭の変化を月ごとに整理してみた。この浄水場は河川表流水を取水し沈殿池だけで凝集剤を使用しない。そのため、ろ過閉塞するといけなと考えて、一ヶ月以内に削り取り作業をしている。ろ過速度は、ろ過継続に伴い、次第に速くするようにしていた。また、砂層表面の削り取り作業の前は、ろ過速度を更に速くしていた。そのために、実測の損失水頭が上がり、ろ過閉塞したと自分らで納得していた。



図 64. 砂層表面の削り取り作業。茶色の砂層は除かないようにするのがコツ。浄化の主役は砂層上部で活躍する微小動物であるので、除かないようにするのが正解である。

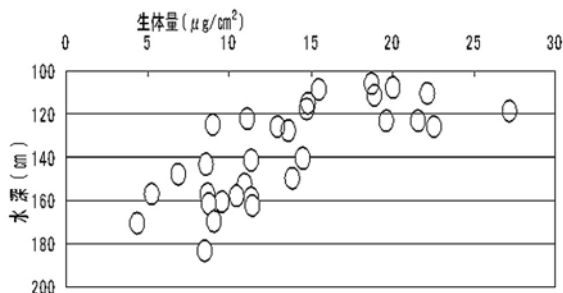


図 64. 藻類群集試料の中の微小動物群集の量も調べた。原生動物の繊毛虫、輪虫、線虫などがいるが、藻類群集の生物量と比較するために、生物量を計数し、大きさを計測して体積量に換算してみた。その結果、藻類量に比べて、1000 分の 1 程度であった。微小動物の生物量は、藻類量と同じに水深が深くなると少なくなった。藻類という餌が少なくなると動物も少なくなった。

この浄水場で、ろ過継続に伴い、砂層表面と上部の藻類群集と動物群集の発達を調べた。藻類や動物は種類により大きさが異なる。ろ過池には小さな生物と大きな生物が混在している。そこで、種類毎に平均体積量を計測し、生物の比重を 1 と考えて生物量を重量として表してみた。その結果、浅い水深のろ過池では、藻類群集の発達は良く、動物群集の発達も良かった。ろ過継続が 10 日以上ろ過池での生物量と水深の関係を調べた。その

により。欧米では、汚れた被膜 (Slime) と呼ぶが、この浄水場では、汚泥と呼んでいた。また、この被膜を削り取り (scrapping) を「鉄取り」と呼んでいた (図 63、64)。そのため、砂層上部の生物群集が活躍している砂層を取り除く間違いをしていた。



図 63. 削り取りが頻繁で、砂層上部を数センチも取り除いてしまうと、その後、浄化機能が回復するのに日数がかかる。汚れているように見える砂層は、土壌と同じで浄化の主役が活躍している生物層である。汚砂という言葉が誤解を生む。

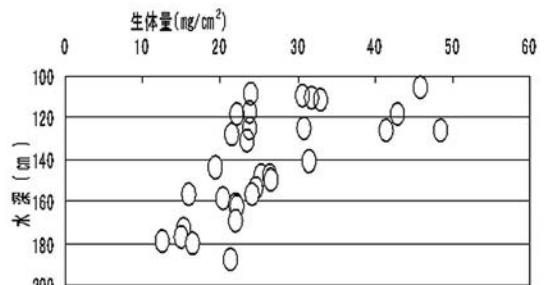


図 65. ろ過池の水深が 1m から 1.8m と深いろ過池がある浄水場があった。夏期に 10 日以上ろ過継続しているろ過池の砂層の表面の藻類群集を中本が開発した藻類被膜採取道具を使って定量採取をした。水深と単位面積当たりの生物量を比べてみた。生物量を動物量と比較するために、藻類の体積量で表してみた。水中の生物であるので比重は 1 と考えて重量で表した。明らかに水深が深いと藻類量は少なくなった。藻類が少ないということは、酸素生産量も少ないことを意味している。水深が浅い方が生物活性は高いことを意味している。



図 67. 水中では光と栄養塩があれば光合成をして繁殖する藻が自然と繁殖する。しかし、その生息環境に適した生活系の藻類が繁殖する。流れがほとんどない湖沼では、水中で浮遊する植物プランクトンが、流れが速い河川の河床の礫面には、付着藻類が繁殖する。しかし、降雨などで急激な流速変化があると礫の表面は土砂で削られ、礫は転がるので、繁殖できない。緩速ろ過池では、上から下へのゆっくりとした流れがあり、生物毒や濁り物質が入って来ないなら、糸状になる藻類が自然と繁殖する。

6.8 茶色の藻から緑色の藻
緩速ろ過池はゆっくりと流れがある。流れがある環境では、糸状になり、水の流れに逆らって活躍できる生物が有利である。伏流水を水源とするろ過池でも、糸状の藻が繁殖する。藻は、ホコリと一緒に世界中を漂っている。藻は水溜まり

結果、水深が浅いほど、藻類や動物の現存量が多かった (図 65、66)。この浄水場では、ろ過水の濁度は、常に 0.00 程度であり、大変に良好な水質であった。しかしながら、生物群集の発達が悪いので、基準以下の微小な粒子や溶けている物質の分解に関し必ずしも良いとは考えられない。理想的なら、生物群集を発達させ、生物群集による徹底的な浄化をしたいところである。

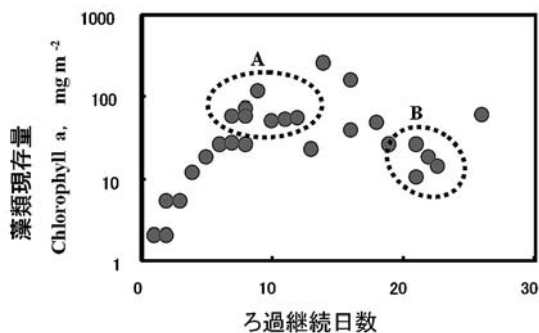


図 69. 河川表流水を取水し、沈殿池だけで薬品を使わない緩速ろ過池でのろ過継続に伴う藻類量を採取して調べた。水温が高い期間は単位面積当たりのクロロフィル量はろ過開始後、10 日でピークになり、その後減少した。

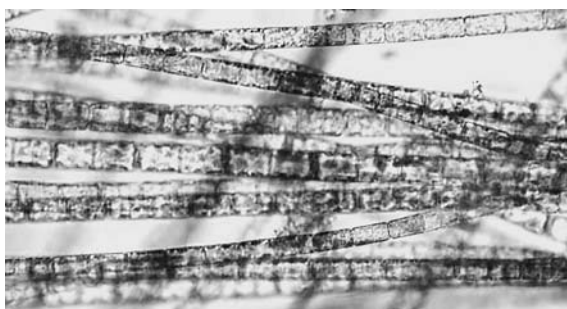


図 71. 藻類量が最大になったときの試料を顕微鏡でみると、優占種は、糸状珪藻メロシラで、細胞が長く連結した活性が良い状態であった。



図 73. 砂層表面の試料を顕微鏡観察すると、河床の礫面で繁殖し、流入してきたニッチェアなどが輪虫に食べられているのが観察された。



図 68. 濁り物質の流入が少なく、長くろ過を続けることができる緩速ろ過池では、糸状珪藻が動物に食べられ、食べられにくい糸状緑藻が繁殖するようになる。また、底には、水草や抽水植物といわれるヨシやガマも繁殖することがある。これらの高等植物の根が垂直に深く伸びることはなく、砂層に入ってくる栄養塩を吸収しようとし水平に伸びているのが普通である。自然の湖沼沿岸帯に近い状態である。

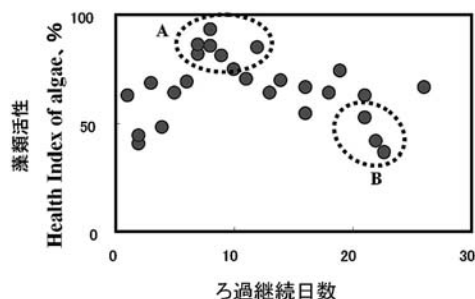


図 70. クロロフィルの分解物のフェオフィチン量も測定し、藻類活性の指標を調べた。ろ過開始時は、藻類活性が悪いが、藻類が増えるに伴い、藻類活性が良くなった。藻類(クロロフィル)量が減少したと、藻類の活性が悪くなった。

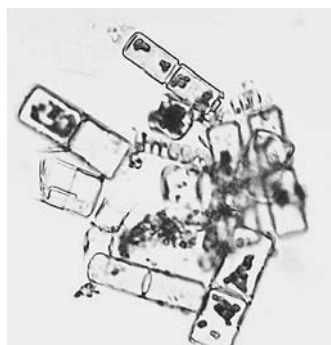


図 72. ろ過継続が長くなり、活性が悪くなったときの砂層表面の藻類被膜を観察した。数個の細胞が連なり、細胞の中に細胞質が充満していない空の細胞がほとんどであった。

で繁殖する。水溜まりは干上がる時がある。藻の生存戦略として乾燥に耐える状態になる。それは休眠状態の卵の様なシストと呼ばれる状態になる。そのシストが、水があるところに落ちると、活動し始め、光合成をして増える。緩速ろ過池では、糸状の藻が繁殖する(図 67)。原水が河川表流水の場合、河川からの流入してくる藻が繁殖する。最初は、河床の礫面で繁殖するような細胞の外に粘着物質を出す付着藻類が繁殖するが、やがて、糸状の藻が繁殖しだす。貯水池水源の場合も、最初は、流入プランクトンが目立つ。ろ過池で藻類が繁殖するのに必要な栄養塩があるなら、糸状の藻類も繁殖する。ゆっくりの流れがある環境で最初に繁殖する藻は、茶色の糸状珪藻である。茶筒珪藻と言われるメロシラという珪藻が最初に目立つのが普通である。帯珪藻といわれるフラジリアも目立つこともある。これらの珪藻は水生昆虫の幼虫などの餌としても最適で、直ぐに、動物に食べられてしまう。ろ過池の砂層表面には、藻がほとんど目立たなくなることがある。この時でも、砂層内には動物が活躍しているので、目詰まりはしないし、ろ過水は清澄でおいしい水である。やがて、ろ過池では、動物に食べられにくい糸状の緑藻の繁殖が目立つようになる。ろ過継続が長いと、砂層に水草まで繁殖しているろ過池もある(図 68)。ろ過継続が長いとろ過池や、水温が高い地域では、

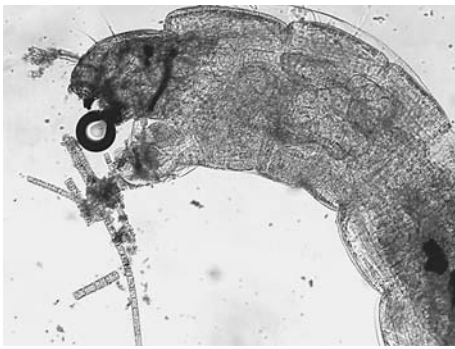


図 75. ユスリカなどの水生昆虫の幼虫で若齢の時は、細菌などの小さな生物を食べる。多少大きく成長すると、ユスリカ幼虫は、糸状珪藻をパクパク食べる様子が観察された。



図 74. 原生動物の繊毛虫（ゾウリムシやツリガネムシ）は単細胞の藻類を捕食するが、長く連結する糸状藻類のメロシラなどを食べることができない。



図 77. 建設し 70 年以上も使っていたので、ろ過池が古くなったので、ろ過池更新をするという工事をした浄水場があった。このろ過池の壁は、斜めで、生物繁殖の調子が良かった。単に古いという理由だけで、作り替えるような無駄使いが行われていた。しかしながら、欧米では 100 年以上使い続けて問題が無いろ過池は多数ある。



図 76. ユスリカ幼虫のお腹の中を良く観察すると、食べたメロシラが腸管の中に縦列になっているのが見られた。ろ過継続が長くなり、数細胞の連結で、細胞内が空になったのが観察されるのは、糞塊として排出されたものである。



図 79. ろ過池の壁面での藻類繁殖の様子を調べた。



図 78. 河川表流水を取水している浄水場で、水温が低い季節はろ過池の底には糸状珪藻メロシラが繁殖しない。しかしろ過池の壁面のハシゴに糸状珪藻メロシラが繁殖していた。水深が浅いと確かに藻の繁殖が良い。

6.9 斜めろ過池と垂直ろ過池
上田市水道局の染屋浄水場には、大正 12 年から現役で稼働し続けているろ過池がある。このろ過池の横の壁は花崗岩のブロックが斜めに積み重ねられている。また、戦後、新しくつく

られたろ過池は、斜めろ過池と垂直ろ過池とがある。斜めろ過池は、大正 12 年から現役で稼働し続けているろ過池である。このろ過池の横の壁は花崗岩のブロックが斜めに積み重ねられている。また、戦後、新しくつくられたろ過池は、斜めろ過池と垂直ろ過池とがある。斜めろ過池は、大正 12 年から現役で稼働し続けているろ過池である。このろ過池の横の壁は花崗岩のブロックが斜めに積み重ねられている。また、戦後、新しくつく

緑色の糸状の藻が優占する場合が多い。上田市の浄水場で一年中、糸状珪藻メロシラが優占していたのは、砂層表面の削り取り作業が頻繁で、糸状緑藻にまで遷移が進まなかったためであるのが後でわかった。

暖かい地方では、糸状緑藻に直ぐになるのは、珪藻を食べる捕食動物の影響であった。また、河川表流水や貯水池水源の浄水場では、緑色の糸状藻類が直ぐに目立つのは、流入水と一緒に捕食動物が流入してくるためであった。（図 69～76）糸状珪藻よりも、糸状緑藻の方が細胞の大きさは大きく、濁り物質の捕捉という観点では糸状珪藻の方が優れている。また、光合成により生じた気泡を藻類被膜に付着し浮上しやすいという点でも糸状珪藻の方が優れている。しかし、緑色の糸状緑藻が優占していても、動物の餌であるのは違いない。だから、目詰まりがひどくなる訳でもなく、清澄なる過水ができるのは変わらない。



図 80. 斜め壁のろ過池に比べると、垂直壁のろ過池では、藻類繁殖が悪く、浄化機能が発揮するのに日数がかかった。それは、斜め壁だと、浅い部分で藻類が繁殖し、微小動物が繁殖する。それらが種となり、底に落ちて、浄化機能が発現したと考えられた。しかし、この浄水場では、斜め壁のろ過池を浄化機能が悪い垂直壁のろ過池構造に更新してしまった。生物群集の活躍による浄化が基本という思想が生かされていないのが残念である。

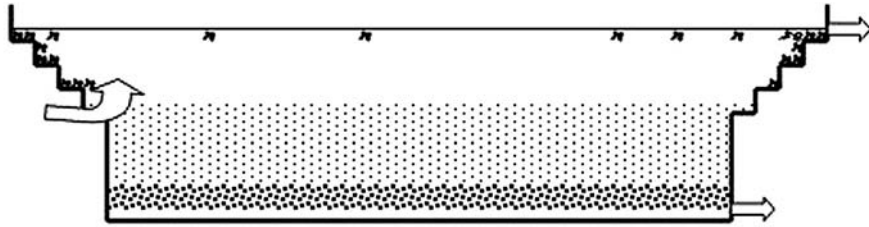


図 81. 斜め壁のろ過池構造が良いが、施工上、階段状にすると建設しやすい。



図 83. 越流口は、必要ない時は、蓋をしていた。スライドさせてスカムを排出させるようである。



図 82. テムズ水道のろ過池では、越流管でなく、壁面の穴からスカムを排出させるようにしていた。

られたろ過池は、コンクリートで垂直壁であった。浄水場の職員は、古いろ過池の方が、生物群集の発達がよく、ろ過閉塞しにくいことを経験的に知っていた。ろ過池を良く観察すると、ろ過池の壁が斜めだと、その壁で糸状藻類が盛んに繁殖しやすいことがわかった。斜めだと、自然の湖沼や浅い河原の状態と同じで、斜め壁で光を十分受けて藻類が繁殖しやすい。つまり、苗床の様であった。水深が浅い斜め壁で藻が盛んに発達し、その一部が剥離するろ過池全体での藻類繁殖に寄与していた。藻類が発達すると動物が繁殖し、ろ過閉塞しにくくなった。しかし、垂直壁だと、浅い場所が無く深い底だけなので、光が底まで十分に到

達できず、藻類の繁殖が悪く、動物群集の繁殖が悪い。そのため、斜めろ過池より、ろ過閉塞もしやすい(図77、83)。

6.10 薬剤は生物処理には禁物、凝集剤を使つてはいけない

ゆつくりの砂ろ過は、細かな砂での機械的篩い分けと考えられていた。濁りが多すぎると砂層が詰まる。そこで濁り対策で凝集剤を使いだしたが、薬品処理の急速ろ過処理の開発につながった。しかしながら、生物処理は機械的な篩いろ過でなく、生物群集での濁り捕捉と分解である。生物活性を妨害することはいけない。

濁り対策で凝集剤を使うことは、薬品処理の急速ろ過処理での対処である。生物処理の緩速ろ過処理では、凝集剤は生物毒であるので、使つてはいけない。河川表流水を取水する場合、一般的に着水井で凝集剤を添加し、薬品を混和し、フロックを形成させ、フロックを沈殿池で沈殿させ、上澄みを緩速ろ過池に導入している。表面きは、沈殿池で完全に沈殿しフロックはろ過池に流入することはないことになっている。実際は、かなりの量の凝集フロックがろ過池に入ってくる。そのため、砂層表面は白く粉が降り積もっているようになる。ろ過池の水は、濁りが少なくなり、清澄で良いと誤解している。しかし、この時、ろ過池の生物が逃げだしているのである。砂層上



図 85. 越流管の重要性、連続培養の重要性は、日本各地で認識されだした。上下可動式の越流管も設置されているところがある。



図 84. 高崎の若田浄水場を調査させてもらっていたときは、この水は、キンビールの醸造に使われていた。少しでも水質が悪いと苦情の電話が浄水場にあったという。しかし、現在は、この工場は宇都宮に移転し、水質に関し、苦情を言う大口の消費者がいなくなっていました。



図 87. キンビール工場へ送水していた若田浄水場。濁り対策で凝集剤を使用する設計であったが、凝集剤を使うとキンビールが使ってくれないので、凝集剤を一切使わないようにしていた。



図 86. 明治時代、日本に急速ろ過による浄水場が建設される前から現在まで現役で稼働し続けている高崎市剣崎浄水場。河川表流水を取水するが濁り対策では、沈澱池である。

部で活躍していた微小生物も凝集フロックが流入してくるので、薬剤が無い水の方向に必死になって逃げる。つまり、砂層内で活躍していた微小動物は、ろ過水にまで逃げてくるのである。クリプト対策で、精密濁度計が導入されたので、この現象がハッキリとわかるようになった。でも、理想的な濁度0.1度以下だからと問題にしていけないが、生物が逃げたのである。緩速ろ過処理で、生物が漏れるとは、この様な時である。生物処理に對しての誤処理のためである。

また、ろ過池の砂層内で微小動物が活躍できないので、流入してくる凝集剤や細かな鉱物質（シルト）などで砂層が固くなり、ろ過閉塞がしやすくなる。緩速ろ過処理では、生物毒である凝集剤を絶対に使ってはいけない。

高崎市若田浄水場が造られたときは、濁り対策で凝集剤を使用することになっていた。しかし、凝集剤を使うと、大口消費者のビール工場では使ってくれなかった。この工場では、水道水を使って醸造

に使っていた。ビールの味を左右するのは水道水のおいしさであった。少しでも凝集剤を使うとキンビール工場での官能試験を合格しない醸造に向かない水になった。しかしながら、この水でも水道法の基準なら、理想的な水質であった。

若田浄水場では、上流で土砂降りの雨が降り濁り水が流入しても、沈澱池だけで対処し、凝集剤を使わないようにしたところ、キンビールが醸造に使われるようになった（図84）。流入水濁度が500度という高濃度になっても、凝集剤を使わないようにした。濁り水がきたら、浄水（配水）池の水が空になるまでじっと我慢をし、耐えていた。高濁度は何日も続かず、直ぐに濁度は低くなった。その内に、自然と目詰まりは解消した。また、濁り水が流入した時は、「バルブを決していじくるな」というのがコツと教わった。バルブを操作すると、濁りが砂層内に侵入し、逆に回復が遅くなるとのことであった。ろ過池砂層内での微小動物群集の活躍でろ過閉塞は回避していた。生物群集を多くすることが良い維持管理であった（図85～87）。

しかし、機械的なろ過が主と考えている浄水場では、濁り水が多い季節は、早めに、削り取り作業をしている場合がある。それは逆効果である。濁り除去、ろ過閉塞防止に役立つ微小動物群集を除いてしまっている。

※次号に続く