

生物屋の緩速ろ過池研究

その40 藻の繁殖は役立っていた

信州大学名誉教授 中本 信忠

自然現象の応用・応用生態学を実践してきた。

1 生態学・応用生態学が認識された

近年 SDGs バッジをつけている人が多くなった。持続可能な開発目標 (SDGs) は 2015 (平成 27) 年 9 月の国連サミットで採択された 17 のゴールと 169 のターゲットで構成される世界全体の目標である (図 1)。有識者が持続可能な地球生態系について考えました。

私は 1960 (昭和 35) 年代に



図 1 持続可能な開発目標

2 ダム湖での淡水赤潮現象を研究

東京の大学生だった。当時は人間の活動の廃水や廃棄物を無処理で水域に流し、湖沼が富栄養化し河川が汚れ、公害と叫ばれていた。生物と環境の関係に関心が寄せられ、ダム湖生態系に注目されはじめた時だった (図 2)。

埼玉県と群馬県の県境には東京都の水道水源としても大きなダム

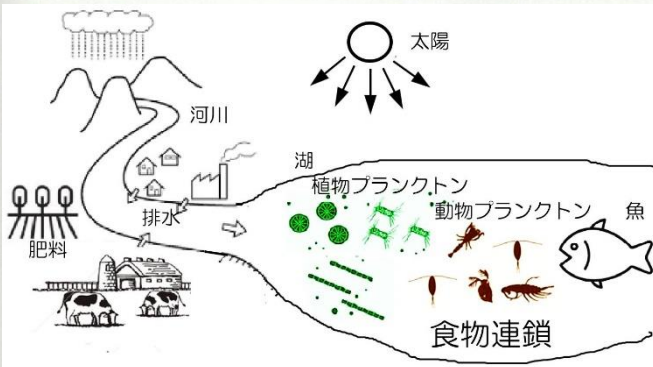


図 2 流入水と湖沼に注目



図 3 ダム湖の淡水赤潮に注目

湖 (下久保ダム湖または神流湖) があった。私は流入部でペリディニウムという渦鞭毛藻類が大繁殖する現象を研究し、淡水赤潮現象として 1975 (昭和 50) 年に A Freshwater Red Tide on a Water Reservoir (神流湖における淡水赤潮の発生について) として日本陸水学会誌で発表した (図 3)。日射量が増えだす 2 月下旬からダム湖流入部で渦鞭毛藻が増えだし、4 月中旬にはダム湖面の半分以上に広がり、5 月に入ると消失した (図 4)。

湖沼学からダム湖学、応用生態学だ。

ダム湖の生物現象を研究するなら、新しい発見があるかも思った。

湖沼学では、水深が一番大きい深い、湖心での水の垂直循環を考えるのが普通であった。でも、ダム湖は、水深が一番深いのは、放流口、ダム湖堰堤近くだった。

ダム湖は、水利利用を目的に建設され、流入水の影響が大きい。流入部での生物現象に注目した。

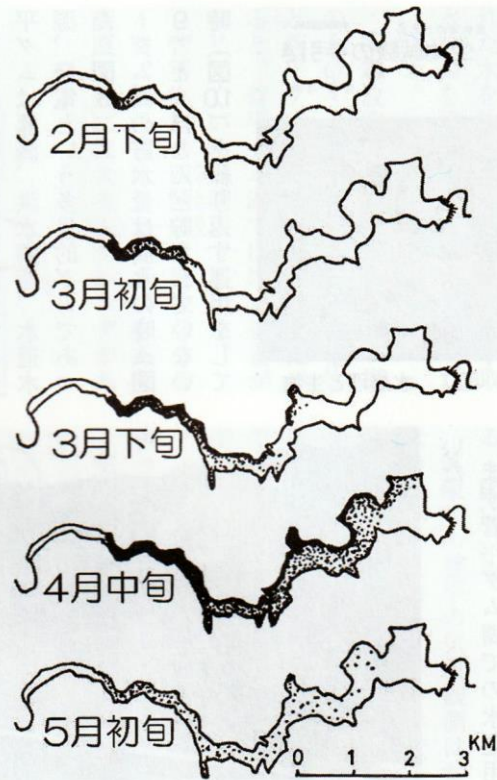


図4 淡水赤潮の分布

1年間の堰堤での水温の垂直変化を調べた。このダム湖は底から30mの場所にある放流口から放水していた(図5)。

田植え時と稲が盛んに育つ時期に放流量が多かった。底の水温が低い水を放水するため、下流の灌漑地域での冷水で稲の生育が悪いという苦情があり、困っていたダム湖であった。

池表面の日光で温まった水を放水できるように表面取水設備が建設された。その結果、冷水問題は解決した。また表層水の滞留時間が短くなり渦鞭毛藻の繁殖は、少しは減ったが、完全に無くなることは無かった。

ダム湖は取水(放水)方式の違いで、自然湖と異なる現象がある事に気づき、また流水系の河川環境とダム湖という静水環境の境で生物群集の遷移現象があるのに気づいた。境界では新しい環境に適した生物が繁殖することに気づきダム湖生態系に興味を持った。

教科書で習った湖沼での現象は自然湖沼であった。湖沼を研究する人は、ダム湖は人造湖であり、天然の湖沼でないもので、研究対象にしていなかった。私は新しい研究分野で、新しい発見があるのではと思った。

これまでの湖沼学では、水深が深い湖心での水の垂直循環や生物現象を解説してきた。しかし日本の様に降水量が多く、山国の湖沼やダム湖では、水の滞留時間が短

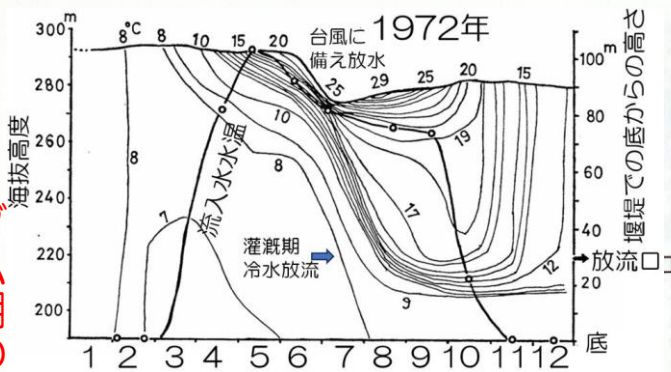


図5 下層放流と水温変化

く水の交換率が短かった。降水量が多い日本では流入水と湖水との関係にもっと注目する必要があると気づいた。

下久保ダム湖流入部で見られた淡水赤潮現象は、ダム湖や自然の湖沼での流入部で普通に生じる現象として学会などで発表した。その後、日本中のダム湖や湖沼でも同じ様な現象があることがわかった。淡水赤潮現象は自然現象という認識になり、集水域生態系と貯水池の関係が注目された。

3 菅平ダム湖の水運用を調べた

千曲川の支流の神川の上流に長野県企業局の菅平ダム(図6)が1968(昭和43)年に完成したら上田市の水道水が不味くなった。水道水が不味くなった原因は



図6 菅平ダム湖

ダム湖の水位は変動するのが普通。海拔高度で表記する必要があった。

新しい発想で、菅平ダム湖を研究した。

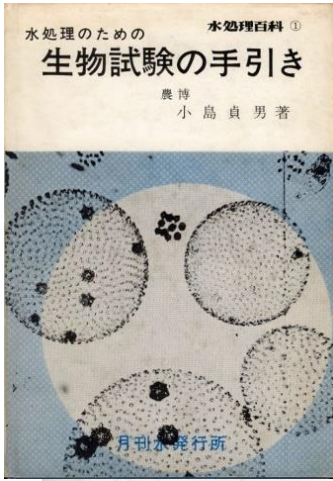


図7 水処理と生物

小島貞男さんの生物現象に関する本は役立った。

ダム湖で植物プランクトンが繁殖したためとされた。東京でダム湖での藻類繁殖を研究していた私に声がかかり、信州大繊維学部にて1975（昭和50）年10月に33歳でやっと就職できた。私は急速ろ過では臭い物質が除けないで苦労をしているのを知っていた。小島貞男さんが1964（昭和39）年に出版した『水処理のための生物試験の手引き』（図7）には「緩速ろ過では生物群集が活躍し臭い物質は除ける」と書かれており、上田市は緩速ろ過処理なのに不思議だった。

菅平高原からの水を貯水する菅平ダムは灌漑、洪水調節、水道水源、発電という多目的ダムであった（図8）。

ダム湖の貯水量は満水の時（図9）と、ほとんど貯水していない時（図10）を繰り返す運用をしていた。

多目的ダムは、目的に合わせて水運用をしていた。



図9 満水時のダム湖（5月）

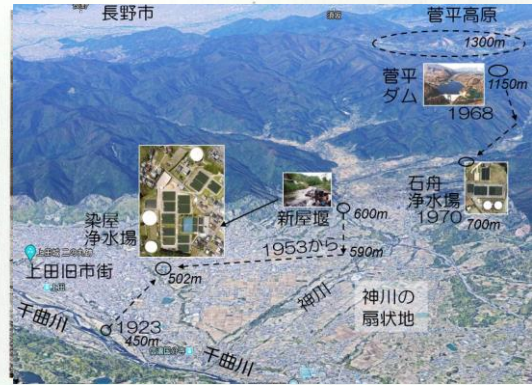


図8 上田市の浄水場と水源

満水と、水が無い時をくり返していた。

まず菅平ダム湖での水運用を



図10 低水位のダム湖（8月）

調べた。学生と一緒にダム堰堤間で、水面から底までの水温の垂直変化を計測した。その水温と水深の季節変化を1976（昭和51）年5月から1977（昭和52）年12月まで調べた（図11）。

菅平ダム湖は多目的ダム湖でダム湖の水位を人為的に大きく変化させていた。普通の湖では水位は変わらず1年中、湖面標高は変わらない。そこで湖面から底までの水温変化を単純に図示できるが、ダム湖では水深が変わる。湖面を、海拔高度で表記する必要がある。

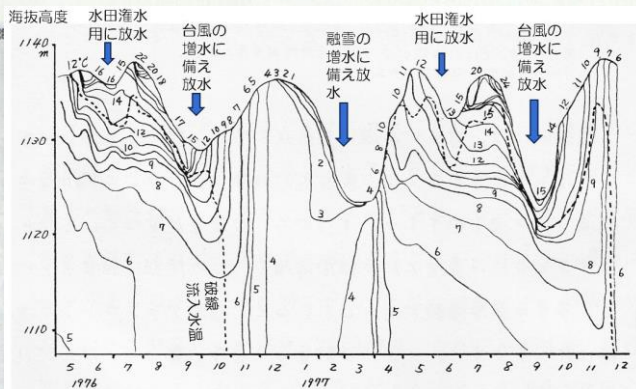


図11 ダム湖の水温変化

底面は一定なので、底からの水深という図示が必要だった。グラフにすると水田に灌水する時には放水し、秋の台風で備え、ダム湖に貯水していた水を放水して、春先の菅平高原での融雪による増水を和らげるため、融雪期前に放水量を多くし水位を下げていた。

菅平ダム湖では水面の水は日射で温められるが下層には水温が低い融雪期の水が溜まっていた。菅平ダムでは水面近くの温めら

菅平ダム湖は、洪水調節、農業用で放流し、その放流水で発電。この水を水道水源としても使っていた。

灌漑水は冷水被害がある。菅平ダム湖は表層の温水放流をしていた。

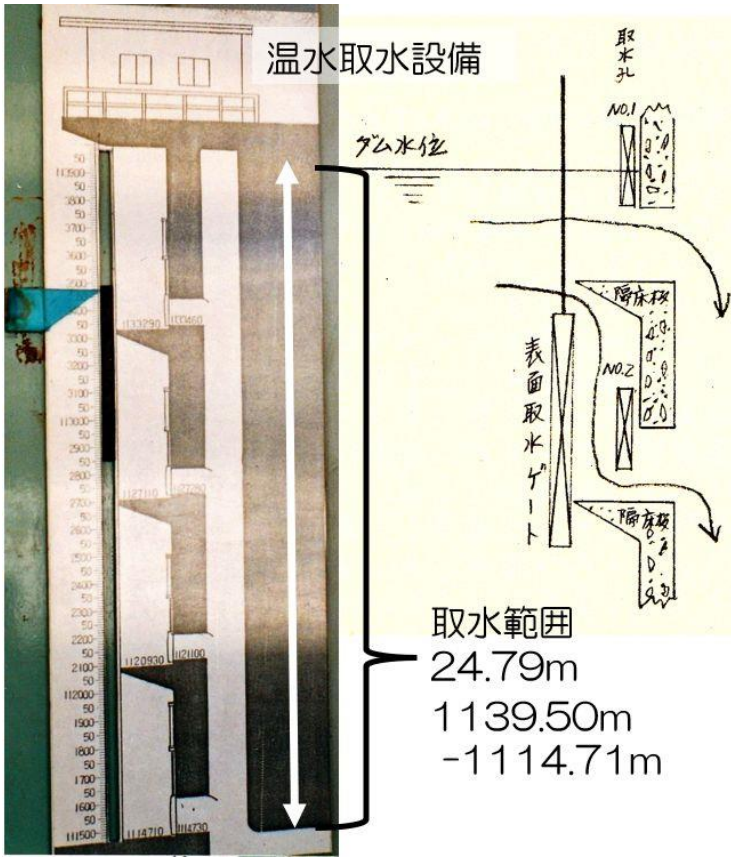


図12 温水取水（放水）の仕組み

れた水を放水する仕組みの温水取水設備を建設時から備えてあった（図12）。
 下層放流であった下久保ダム湖の水位・水温変化（図5、前出）と菅平ダム湖での水温変化を比べると、菅平ダム湖では冷水被害が生じにくいのは明白であった。
 菅平高原の四阿山は海拔2354m、根子岳は2207mもあり、高原周囲にはスキーゲレンデがある（図13）。
 気象庁の菅平の気象観測は盆地状の高原内にある菅平中学校（海拔1253m）で行われていた。高原の周囲は山で（図14）、実際の降水量（冬は降雪量）は菅平中学校での観測値よりもっと多いが、私が調査した時は周囲の山での気象データを手に入れる事はできなかった。
 気象観測場所の菅平中学では12

ダム湖への栄養塩はどこからと、集水域を調べた。

月になると降雪があり、だんだんと積雪量が増え、日射が強くなる3月になると融雪が急に進んでいた（図15）。融雪による菅平ダム湖への流入水量は4月の方が多かった。菅平高原での降水量を調べると1年中、降水があるが、調査のために午前中に菅平高原に行っても雨は降っていなかった。この降水は高原での夕立であった。
 夏、8月に観光客が菅平高原へ行くと菅平ダム湖には貯水した水がほとんどなく、上田市は水不足



図13 菅平ダム湖の集水域

では」と話題になるが、台風の豪雨に備え人為的に水位を下げている。水位を下げるのは台風による豪雨に備えていた。

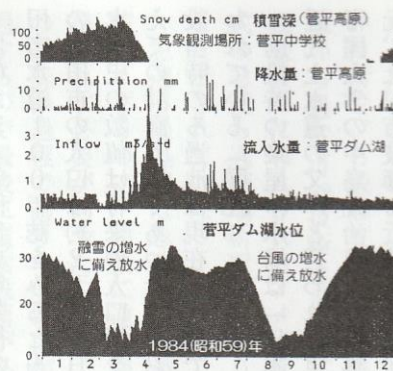


図15 気象と水位の変化



図14 菅平高原

集水域生態系の結果がダム湖に影響という考えがあり、集水域を調べた。

日本の山岳地帯は、降水量が多い。山間のダム湖は、直ぐに満水になる。



図16 すぐに満水になる

水位が低い時は、濁り水がダム堰堤まで来る。



図17 低水位で濁り水

また冬期は厳寒で降水があっても降雪で河川水は増水しにくく、流入水は濁りにくかった。またダム湖水面は凍結するので、取水口の周りは水を流して凍結防止策をしていた(図18)。

ダム湖が富栄養化して植物プランクトンが大繁殖するのが問題と

4 菅平ダム湖は濁り水を放流しやすかった

菅平ダム湖は菅平高原からの流出水を貯めていた。春の融雪期や、台風の影響ですぐに満水になるダム湖であった。また菅平高原で大量の降雨があるとダム湖堰堤際まで、濁り水がくるのが見られた(図16)。それはダム湖の貯水量に対して集水面積が広く降雨時の水ですぐに満水になりやすい集水域であった(図13、前出)。

また流入水は図11(前出)の破

線を見ると、水温と比重の関係で表層直下に流入してくるのがわかる。表層水放流なので水面近くの水の滞留時間が短いダム湖であった。

夏は台風で備え水位を下げていたので、高原での降雨で流入水が濁ると濁り水がダム堰堤近くまできていた(図17)。

菅平高原からの濁りは火山灰起源で細かな濁りが多かった。この濁りはダム湖でも沈みにくかった。表層水放流なので、濁り水が放流されやすいダム湖であった。



図18 厳寒期の取水口

5 創設当時はろ過池2池で給水人口6万人だった

上田市は大正12(1923)年に稼働した染屋浄水場がある。海拔450mの千曲川の河川敷から伏流水を取水し海拔502mの染屋台にポンプで52mを揚水し緩速ろ過処理をした(図8、前出)。昭和2(1927)年発行の日本水道史(中島鋭治)によると当時は

言われていたので、私はダム湖での植物プランクトンと栄養塩の関係も調べたが、別の機会に解説をしたい。

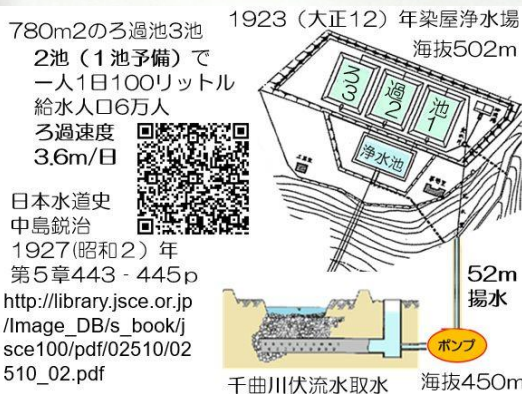


図19 創設期の染屋浄水場

日本水道史
中島鋭治
1927(昭和2)年
第5章443 - 445p
http://library.jsce.or.jp/Image_DB/s_book/jsce100/pdf/02510/02510_02.pdf

780平方mのろ過池を3つ建設し、常用は2池で1池は予備だった(図19)。当時のろ過速度は1日に3・6リットル一人1日100リットル給水で、給水人口6万人とあった。

2023(令和5)年発行の上田市水道100年誌をみると当時の上田市の人口は約2万人、日本水道史の数値は将来の人口増を考へての計画人口であった。なお創設当時のろ過池は現在も現役で使われている(図20)。

創設時の染屋浄水場は「日本の近代水道の父」と言われる東京帝国大学の中島鋭治博士の指導のもと、上田市技師の近藤俊次郎が設

染屋浄水場は、千曲川の伏流水を取水。濁りがないので、ろ過池だけだった。

冬期は、水面は凍結。流入水は水温が高い。取水口は水を循環させ、凍結防止をしている。

大正 12 年の創設時のろ過池が現役。
それは漏水しにくい斜め壁。



図20 創設期のろ過池が健在

計、施工した。
日本各地の上下水道施設の建設に指導助言をしたバルトンは1887（明治20）年5月に来日し帝国大学工科大学（現在の東大工学部）土木工学科で衛生工学講座の初代教授を務めた。中島鋭治はバルトンの元で助教授として働き、後任の教授となった。中島博士は欧米に3年間留学し各地の水道施設を見学した。
染屋浄水場のろ過池や配水地の構造はバルトンの著書「都市の水道」(図21)にあるろ過池の構造とほぼ同じである。その壁は、斜めで粘土層とコンクリートブロックで建設されていた。この構造は耐

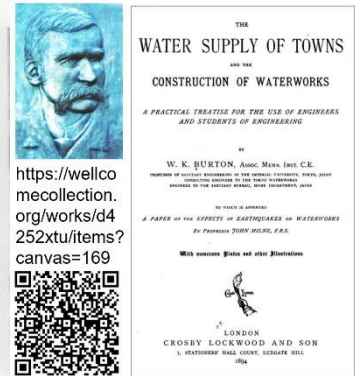


図21 都市の水道

震性能も良く、粘土層は1尺（30センチ）以上と厚く漏水しにくい理想的な構造である。ろ過池が斜めなのは天然の湖沼の壁面構造を模し、粘土は水田での漏水対策と同じであった。

6 戦後、河川表流水を取
り濁り水対策で凝集剤を添
加しだした

染屋台地に千曲川から標高差52メートルを揚水する動力費が問題だった。そこで浄水場がある染屋台地（扇状地）の神科村と染屋台地の農業水利組合と交渉した。その結果、1953（昭和28）年から千曲川の支流の神川からの農業用水路の新堰から分水し自然流下で染屋浄水場まで導水することができた(図22)。しかし灌漑期の5月1日

斜め壁のろ過池は、バルトンの教科書にも書かれてある。

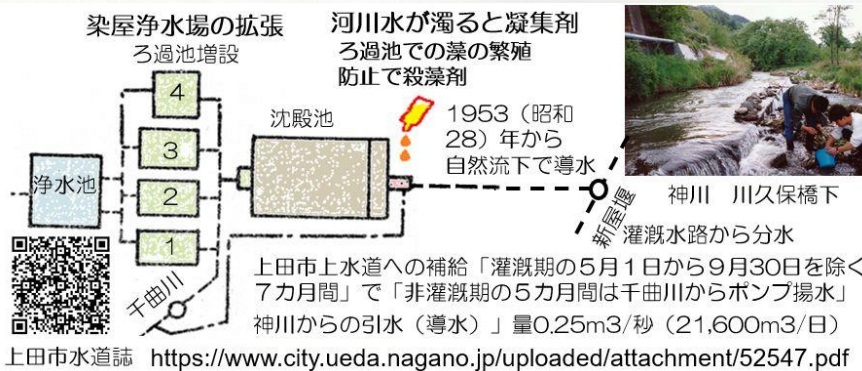


図22 表流水取水で濁り対策

から9月30日を除く7カ月間で、非灌漑期の5カ月間は千曲川から揚水する必要があった。その後、交渉を重ね、取水量は少ないが通年で取水できるように調査をいただいた1984（昭和59）

年は既に、浄水場の原水は神川から自然流下で取水し、千曲川からの揚水は、神川の上流での灯油事故があった時など非常時に揚水しているだけであった。
千曲川の伏流水は雨で河川水が増水しても濁らなかつた。神川の灌漑用水の水は降雨時には濁った。濁り水対策で沈殿池を設けたが、沈殿池だけでは不十分と考え、原水が濁る時は、濁り対策で凝集剤（硫酸アルミニウム）を添加した。
戦後の日本は工業化が進み高度成長期と言われた。緩速ろ過は古い技術で、ろ過速度が遅く効率が悪い。ろ過で古い技術と言われた。戦後盛んに導入されたアメリカ方式の急速ろ過が最新で効率が良いと宣伝されていた。
急速ろ過処理は急速ろ過池が目詰まりするので、頻りに逆洗浄を繰り返す必要があった(図23)。この逆洗浄過程で濁りや病原菌が通過するので最後に塩素殺菌が必須であった。
200年前、ロンドンで緩速ろ過が完成した時は濁り対策で沈殿池を設けていた。当時は生物群集の活躍による浄化が主とは思って

戦後、昭和28年から、支流の神川から自然流下で導水するようになった。

新しい技術の薬品処理の急速ろ過が良いと思われた。
新しい技術という言葉が魅力的だった。

戦後は、新しい技術の薬品処理の急速ろ過が盛んに勧められ、導入が盛んであった。

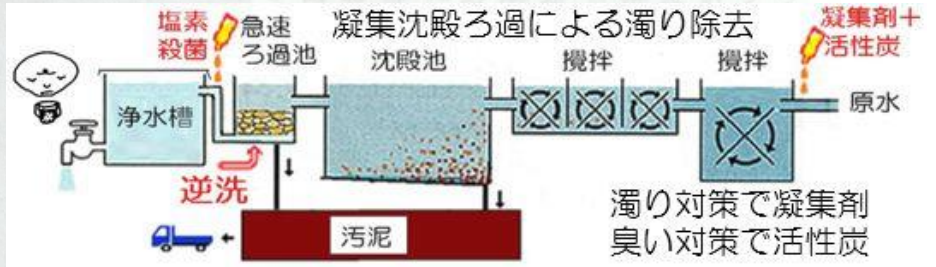


図23 急速ろ過の仕組み

汚泥処理が大変だった。

いなかった(図24)。上田市では神川からの灌漑用水路の水を取水してから沈殿池だけでなく、凝集剤を添加していた。この凝集剤の添加は急速ろ過の濁り対策で必須な前処理で、上田市も最新の濁り対策は良いと考えて導入したものと思われる。

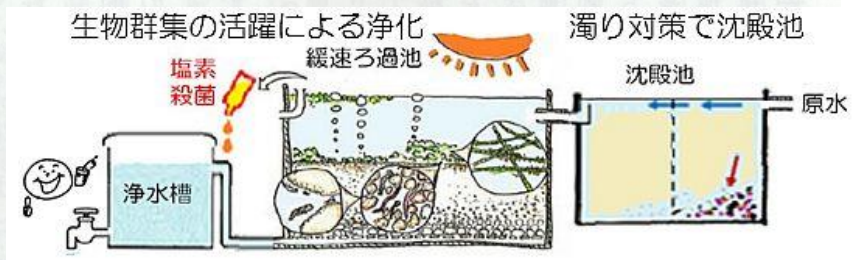


図24 緩速ろ過の仕組み

7 病原菌除去が目的なら薬品処理が最新技術で良いと考えた

日本には英国式の緩速ろ過が横浜市に英国人技師のパーマー(P. Palmer)の指導で1887(明治20)年に初めて導入された。

英国式の緩速ろ過は単純で、水質が良かった。でも古い技術と業界は盛んに宣伝をした。

日本最初の急速ろ過は琵琶湖の表層水を水源とし京都市の蹴上浄水場に1912(明治45)年に完成した。大阪市の柴島浄水場は淀川の水を水源とし1914(大正3)年に緩速ろ過施設が完成した。大阪市水道部の近藤正義博士は1935(昭和9)年から1939(昭和14)年にかけて日本水道協会誌に「上水道における濾膜の生物学研究」を多数発表した。この発表では「淀川から取水した導水路で殺藻剤を添加」と記されていた。近藤さんは「硫酸アルミニウム、塩素、硫酸銅は砂層の生物相は著しく変わるが、緩速ろ過での細菌除去への影響は小さい」と記述していた(図25)。

近藤さんは、緩速ろ過による浄化は病原菌除去が目的で、生物群集の活躍による浄化が主とは思っていなかった。砂層中の汚泥の分布を発表していたが、生物群集が嫌がる薬品を導水路で添加していたので、砂層内深くまで汚れていた(図26)。この図を見た私は、砂層内での濁りは砂粒表面への吸着と砂の隙間へ捕捉が大きく、砂層

第4項...濾過前の薬品処理と濾過機能との関係
本市に於ける原水を以て試験を行った結果によれば、濾過前に硫酸アルミニウム・塩素・硫酸銅等を注入した爲めに濾後に於ける生物相、就中濾層上泥状物中の生物相は著しく変改されるけれど、夫等生物相の變動は細菌除去を目的とする濾膜の機能に直接障害を興ふる事は殆どない様である。されば濾膜の組成は原水中の生物的組成、夾雑物の質並びに量等と密接な関係はあるにしても、此等の事實は所謂濾膜の形成上必要なる生物的要素は案外微少なものなるを示唆して居る様に考へられる。

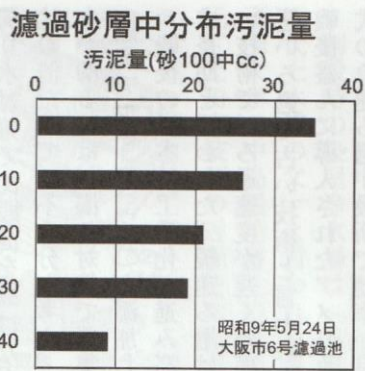


図26 砂層の汚泥の入り具合

図25 濁り対策で凝集剤

緩速ろ過処理の権威の誤解を指摘したい。

内では生物群集が活躍していたとは思えなかった。近藤さんは戦前、緩速ろ過処理に関し一番精力的に研究し、日本の水道界をリードしてくれた人だが、ろ過池での生物群集の活躍の重要性を過小評価していた。

大阪の柴島浄水場では、濁り対策で凝集剤を常に使っていた。生物が活躍しにくく、砂層深くまで、汚れていた。

薬品処理の急速ろ過では、藻臭が除けず、藻が悪者になった。

8 急速ろ過では藻の繁殖が嫌われた

戦後の日本の高度経済成長のきっかけは1950（昭和25）〜1953（昭和28）年の朝鮮戦争特需であった。この高度経済成長は1955（昭和30）〜1972（昭和47）年あたりまで続いた。しかし、この間に河川は汚れ湖沼や港湾では植物プランクトンが大繁殖し水質汚濁、公害として大問題になった。急速ろ過処理では臭い物質が除けず、水源湖沼、ダム湖での植物プランクトンの繁殖が嫌われた。

化学薬品処理の急速ろ過では水源の湖沼やダム湖で生じた臭いを除けず苦勞をし、活性炭を使った。また、急速ろ過池を目詰まりさせるとして藻は嫌われた。アメリカのパーマー C. M. Palmer は1962（昭和37）年『Algae in Water Supplies』(図27)を出版した。日本語訳を桑原麟児さんが1964（昭和39）年に「用廃水藻類学」として紹介していた。

た。当時の日本は急速ろ過処理の浄水場を盛んに建設していたので水源での植物プランクトンの繁殖は嫌われ、水源での殺藻処理が盛んに行われるようになった。緩速ろ過処理をしている染屋浄水場でもろ過池で藻が繁殖できないように原水に殺藻剤として硫酸銅や前塩素処理を行うようになった。



図27 藻と水処理

アメリカでは、藻が悪いというのが常識になった。



図29 ろ過閉塞させる藻



図28 味、臭いをつける藻

戦後日本では急速ろ過による浄水施設が盛んに建設された。水源貯水池での藻の繁殖は急速ろ過処理での障害になり大きな問題になっていた。

戦後、東京都水道局の浄水場で活躍した日本の水道界に指導的な立場で活躍していた小島貞男さんは1985（昭和60）年にNHKブックス『おいしい水の探求』で緩速ろ過の良さを強調していた(図30)。生物屋であるはずの小島貞男

さんも、盛んに水源貯水池での殺藻処理を勧め、水源での硫酸銅処理は緩速ろ過処理の浄水場でも問題が無いと推奨していた。小島さんは東京都の境浄水場でのろ過池の砂層での汚れ具合(図31)を日本水道協会誌に報告していた。この砂層での汚れ具合は、近藤さんの柴島浄水場での汚泥分布(図26、前出)と似ていた。東京都でも当時は、水源の貯水池で植物プランクトンが繁殖する

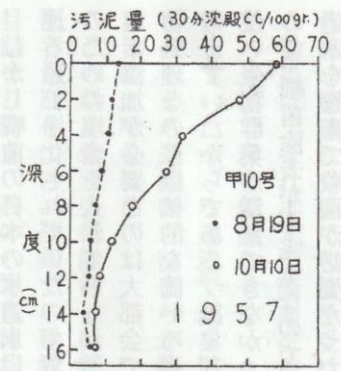


図31 生物が活躍しない砂層断面

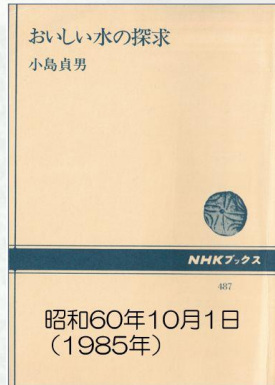


図30 おいしい水の探求

高度成長期には、「おいしい水」を求め、東京都水道局で活躍した小島さんがNHKブックスで解説本を出した。

小島さんが東京都境浄水場の砂の様子を調べた報告では、砂が深くまで汚れていた。生物処理を誤解していた。

細菌除去だけなら、塩素で殺菌すれば良い。おいしい水、それは、人間の本能で、良い水と反応する。おいしい水を飲みたい。

緩速ろ過という言葉には、生物の活躍をイメージできなかつた。

のを防止するために硫酸銅を散布していたので、ろ過池で生物群集が活躍できず緩速ろ過池は単に細かな砂での機械的な篩いろ過になっていたからと思われた。

東京都水道局の小島さんの緩速ろ過に関する考えは、近藤博士の「細菌除去が目的」という考えの影響が大きかったと思われる。小島さんは東京都を退職し、日本中央研究所長として転職したが、その後も誰にでも親切に丁寧に助言をしてきていた。

9 緩速ろ過の名前で誤解した

中本が染屋浄水場で調査を始める数年前までは、上田市でもろ過池で藻が繁殖するのは悪いと考え、ろ過池で藻が繁殖しないように、原水に殺藻剤として硫酸銅と塩素剤を添加していた。

自然界では生物群集が活躍できれば水はすぐにきれいになる。緩速ろ過Slow Sand Filterという用語だと、細かな砂でのゆっくりろ過という機械的な篩いろ過のイメージがあった(図32)。緩速ろ過という用語では生物群集による浄化であるとはイメージできなかつた。

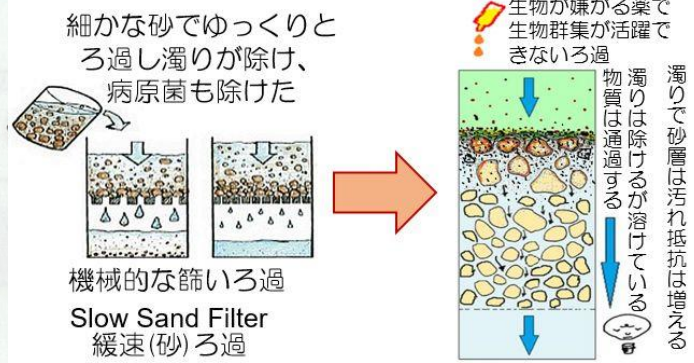


図32 機械的なろ過

誤解していた。日本各地の緩速ろ過による浄水場を見学すると、上田市と同じ誤解をしている浄水場が多かった。

10 急速ろ過で必須の塩素添加が生物処理の誤解の始まりか

日本の水道水に塩素を入れるようになったのは戦後、進駐軍の強制であった(図33)。急速ろ過では逆洗行程があり、どうしても細菌が通過するのでろ過水に塩素での殺菌処理が必須だった。戦後は、急速ろ過の導入が盛んになり、ろ過水に塩素を添加するのが必須で、それが普通になった。



図33 進駐軍の強制で塩素添加

しかし戦前の日本の水道水は緩速ろ過で浄化されていたので殺菌のための塩素を入れていなかった。塩素添加が必要なのは大都会で生物処理なのに機械的な篩いろ過と考えていたからである。凝集剤を使い生物群集が活躍できなかつたので、細菌除去が不完全なので、ろ過水を塩素で殺菌が必要だった。

11 塩素添加で発癌物質生成が問題になる

1962(昭和37)年レーチェル・カーソンは『沈黙の春』を出版した(図34)。当時は農薬や殺虫剤等の化学物質が大量に使用されていた。しかし自然界の生態系で化学物質が生物濃縮し想定外の生

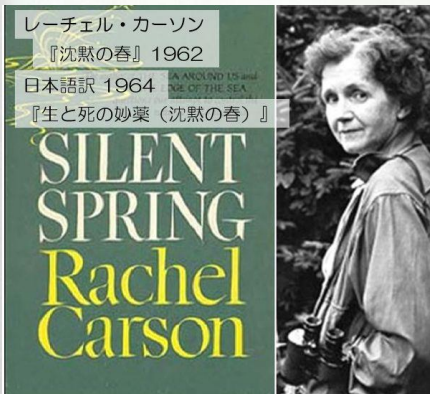


図34 沈黙の春

戦後、米軍は、日本の全ての水道水に塩素添加を強制した。それが現在まで続いている。

1962(昭和37)年、カーソンの『沈黙の春』は塩素が有機物と反応し、発癌物質を生成し、生物濃縮で、想定外の生物まで影響されるのを警告した。

1974（昭和49）年、消費者レポートでハリスらは、急速ろ過の危険性について警告し、世界中で問題になるきっかけになった。

塩素と有機物と反応し、発癌物質が生成するのを警告。

物にまで影響が及ぼされるのを警告した。DDTを始めとする殺虫剤や農薬などの化学物質の危険性を訴えた。

タイトルの『沈黙の春(Silent Spring)』は、鳥たちが鳴かなくなつて生き物の出す物音の無い春という状況を表した。青樹築一の初訳本のタイトルは『生と死の妙薬』だった。

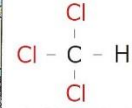
人間には安全だと思っている農薬が果たして安全なのだろうかという問いかけ、世界中で話題になった。この本は人間が自然環境とどのように共生していくべきなのか、生態系での生物群集の役割を考えさせる契機になった。

1974（昭和49）年、ハリスらは消費者報告に「飲み水は安全か？ Is the Water Safe to Drink?」を3

回連載した(図35)。当時、米国ミシシッピ川下流のニューオリンズ市において泌尿器および消化器系癌による死亡率の高いことが判明し、その原因が水道水中の発癌性物質にあるとの指摘がなされていた。

急速ろ過処理は化学薬品処理で果たして安全な処理方法であるかが世界中で話題になった。急速ろ

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



有機物と塩素添加で発癌物質生成の危険性指摘。

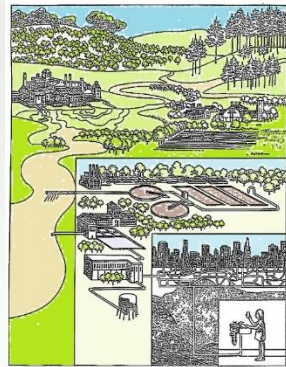


図35 飲み水は安全か

過処理での塩素処理は発癌物質トリアロメタンを生成する事が話題になり、できるだけ化学薬品の使用量を少なくするようになった。

12 藻の繁殖は悪くない

生物屋の私は、自然界で見られる生物は、それぞれ役割があり、藻の繁殖が悪いという考えはおかしいと思っていた。藻が増えすぎて、藻が死んで分解する際に、水中の溶存酸素が微生物活動で消費され溶存酸素が無くなり、分解途中の物質が生じた。これが生物と反応しやすい臭い物質だった。酸素がある状態なら、分解途中の物質も

薬品を使わない、緩速ろ過では、生物群集が活躍して浄化していた。

生物群集が活躍し、完全に分解して無毒化し小さな分子に分解する。緩速ろ過池は上から下への流れがあり、浅い水深の砂層上で、糸状で立体的に成長できる藻が繁殖し、真綿状になる藻類が砂層面を覆った。藻の繁殖は砂層上部で活躍する微小動物の餌にもなっていた。微小動物は何でも食べた。砂層上部では食う食われる関係、食物連鎖系が成立していた。生物は餌を求めて砂層上部に集積していた。砂層深くは餌がなく砂は汚れず、きれいであった(図36)。

緩速ろ過の「緩速Slow」とは速度を意味するのではなく、本当の意味は生物群集に「やさしいGentle」と思っている。山の溪流の流れは速い。常に同

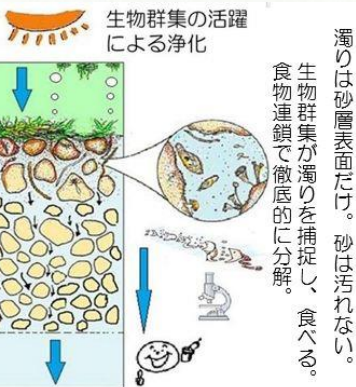


図36 生物群集が活躍

じ流速で岩が流されないなら、その環境で繁殖できる藻類が、岩の表面で藻が繁殖する。急激な流速変化が無いというのが生物群集にやさしい環境だった。

緩速ろ過池でろ過速度を急激に変化させない「緩速Slow」が生物群集に「やさしいGentle」と思っている。

緩速ろ過処理の前処理で生物が嫌がる薬品を使い生物群集が健全に活躍できない処理が問題だった。

13 ろ過池で繁殖する糸状藻類の役割を調べた

私はダム湖での植物プランクトンの生態、河川での自浄作用は生物群集による浄化と解説をしていた。そんな時、染屋浄水場の丸山巖場長が研究室にきて、ろ過池での藻の繁殖について相談を受けた。場長は、それまで殺藻剤を使用しるろ過池で藻を繁殖させないようにはしていたが、ろ過池で藻を繁殖させるとろ過池の目詰まりが防げると教えてくれた。

この話を地元の信濃毎日新聞の記者が聞きつけ「藻類でろ過池の目詰まり防止、砂のろ層真綿状に

藻は悪者でなかった。

藻を殺さないようにしたら、目詰まりが解消した。

昭和60年(1985年)7月22日(月曜日) 信濃毎日新聞

上田市の浄水場



この方向転換をした五十六年
手を通した浄水場のスタッフから五十八年にかけて、三年
が、信大権造学部の中本信忠 連続して千曲川水系は、自
助教授(応用生物科学科)の災害に見舞われ、それ以前に
アドバイスで昭和五十六年 比べて原水の濁度が急上昇し
導入した。
目詰まりを促進するような
藻類もあるため、ろ過前に塩前、夏場の悪条件下では、わ
素を投入し、ろ過後の塩素消毒 ずか二、三日で目詰まりして
に対して前塩素と呼びました。ろ過池が「平均して
意識的に「プランクトン」の増殖 十四、五日、最長で四十五日
を抑制していた。しかし、原 間も連続して使用出来るよう
水中の有機物と消毒用の塩素 になった。(丸山所長が
が枯つて出来るトリハロメ 話)といふ。
アップされたこともあって、
前塩素を、水を積極的に
に利用することにした。

信濃毎日新聞
科学欄記事抜粋

覆いゴミの沈下抑える、水質浄化機能もアップ」という科学欄の記事を1985(昭和60)年7月22日に書いてくれた(図37)。
この記事には「中本のアドバイスで昭和56(1981)年からろ過池で積極的に糸状珪藻メロシラを繁殖させるようにした。台風災害で原水の濁りが急上昇した。夏の悪条件下では、わずか2、3日で目詰まりしていたろ過池が、平均して14、15日、最長で45日間も連続して使用できるようになった」とあった。

図37 藻で目詰まり防止



図38 ろ過池で藻が凄かった

私は菅平ダム湖生態系研究を続けながら、染屋浄水場での藻の繁殖状態を見に行ったところ、ろ過池では真綿状になる糸状珪藻メロシラが大繁殖をしていた(図38)。そこで学生と一緒に緩速ろ過池での藻の役割研究を1984(昭和59)年から始めた。
水道週間の時、小学生は染屋浄水場を見学に来る。浄水場のろ過池水面にはろ過池で藻が大繁殖している状態を見て「汚い」と嫌がった。そこで水道局では「おいしい水を作る小さな主役達」という解説看板をろ過池の脇に作ってくれた(図39)。

見た目は悪いが、藻は役に立っていると解説。

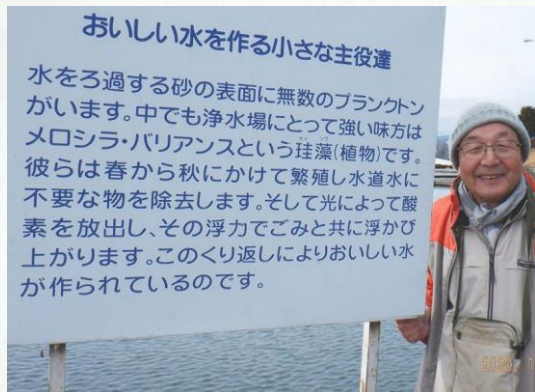


図39 藻の役割解説

14 藻と微小動物の活躍、自然の生態系そのものだった

藻は水中の栄養塩を吸収して増える。それは河川上流で栄養塩が少ない上流の水にする事だった。藻は光合成で酸素を生産し、微小動物が活躍しやすい環境にした(図40)。また微小動物の餌にもなっていた。
砂層上部で活躍する微小生物が細菌や濁りを捕捉し分解していた。砂層内の微小生物は餌を求め動きまわり細かな砂の隙間をつくり水の流れを良くしていた。また微小生物は餌を求めて砂面近くに集

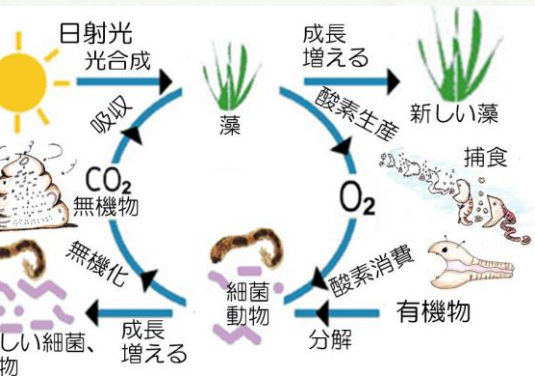


図40 藻と捕食生物の関係

染屋浄水場のろ過池では藻の繁殖は凄かった。

まっていた(図41)。
砂層表面の汚れを削り取る時に、ろ過池に入り、ろ過池の砂層の汚れ状態を調べたら、砂層内の砂は汚れていないできれいだった(図42)。汚れているのは表面近くだけで、砂層内は汚れていなかった。
この砂層断面の様子は自然界の森林土壌の断面の様子と似ていた。表面近くで生物群集が活躍し、分解をしていた。土壌の下は生物の餌がないので、生物もいなくなっていた。
戦前、緩速ろ過処理が全盛の時

藻が繁殖し、微小動物が増え、入ってくる濁りを捕捉し、分解するのに役立っていた。

生物が活躍すると、砂層内は、だんだんきれいになるので、砂層深くは汚れにくい

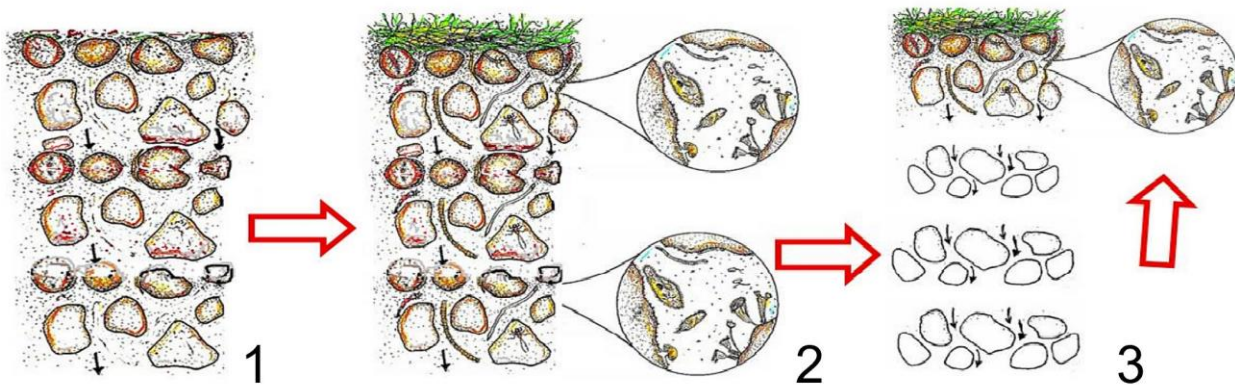


図41 生物が活躍したと砂がきれいになり、生物は餌を求め砂層表面近くに集まる

生物群集が嫌がる前処理をする
と、砂層で生物が活躍できず、砂
層深くまで汚れた。生物が嫌がる
前処理をすると砂層表面の削り取
りを頻繁にする必要があり、砂層
内が汚れるので、砂層を全面的に
取り換える天地返しという操作も

生物群集が活躍するのが緩速ろ過。

代にろ過池の砂層断面の汚れを調
べた近藤さん(図26、前出)や戦
後、緩速ろ過を勧めていた小島さ
んも砂層断面を調べていた(図31
前出)。日本の水道界を指導してき
た両先輩が調べた断面と私が学生
と一緒に調べた断面の違いは明白
だった。生物群集が活躍すれば、砂
層内は汚れにくかった。

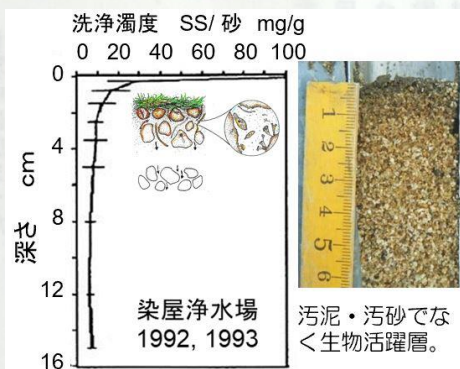


図42 染屋の砂層断面



図43 生物浄化の仕組み

必要だった。戦前、戦後の日本の
水道界で指導的立場の先輩らは
「生物群集の活躍による緩速ろ過
処理」を本当に理解していたとは
思えなかった。
自然界では春になり日射が増え、
暖かくなると草が茂りだす。太陽
高度が下がり日射量が少なくなり
秋になると草木も枯れだす。水深
が1メートルのろ過池の砂面に日射が当
たると砂面上には、上から下への珪
藻メロシラが繁殖し、光合成で酸
素をつくり、その気泡の浮力で水
面に浮いてきていた(図43)。日射

量が少なく水温が低い冬は、藻の
繁殖が悪かった。流れている水は
凍結しない。水中の生物は水温が
低いと活動は鈍くなるが活動して
いた。冬は、田畑では草が茂らな
いが、土壌では微小生物が活躍し
ているのと同じだった。緩速ろ過
池は自然の浅い池と似ていた。
上田市では濁りが無い伏流水を
取水していたが、戦後、河川表流
水を取水し、濁り対策で沈殿池を
設け、濁りと徹底的に除く方が良
いと思い、急速ろ過での前処理で
使う凝集剤を添加しだした(図22
前出)。また、急速ろ過では水源で
の藻の繁殖で生じた臭いが除けず、
ろ過閉塞をするので、急速ろ過処
理で行われていた殺藻処理を行っ
ていた。この藻対策は急速ろ過処
理では必要であったが(図27、前
出)、生物処理の緩速ろ過処理では
してはいけなかった。
水源河川の上流に菅平ダム湖が
でき、表層取水で濁り水が放水さ
れやすかった。そのため、原水に

15 濁り対策での凝集剤、藻
対策での殺藻剤でろ過閉塞
した

化学薬品処理の急速ろ過では、藻で困っていた。そこで、藻を殺すのが良いと勧められた。それを、生物処理に導入したのが誤解の始まり。緩速ろ過という名前では、生物が主役とはイメージできなかった。

生物が活躍する染屋では、砂の汚れは表面近くだけ。

藻の繁殖が悪いと思って、殺藻剤を添加していた時は、夏のろ過継続日数は、短くしていた。

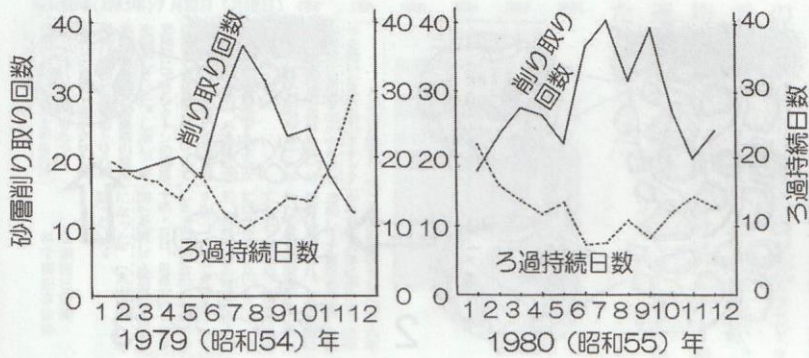


図44 殺藻剤と月平均ろ過継続日数、削り取り回数

凝集剤や殺藻剤を大量に添加していたため、ろ過閉塞をしやすいとした(図37、前出)。
 染屋浄水場でのろ過継続日数と削り取り回数の季節変化(図44)を調べたところ、生物活性が良い夏は、ろ過継続日数が短く、削り取り回数も多かった。

緩速ろ過という言葉で、生物群集による浄化を誤解していた。生物浄化法とい出した。

自然界では土壌表面を除くことをしない。自然界での生態系でのおいしい湧水を作る仕組みが緩速ろ過であった。「緩速ろ過Slow Sand Filter」という名前で誤解されたと思っている。

16 生物浄化法の解説冊子を出版

2000年前、産業革命時代、ロンドンでテムズ河が汚れたが、この水を沈澱池と砂ろ過で病原菌が除けたのがわかった。単に細かな砂でゆっくりと流せばよいと思われ、「緩速ろ過Slow Sand Filter」と呼ばれ、病原菌が除ける処理として世界中に広まった。

しかし、この名前で生物群集の活躍が浄化の主役というのが気づかれなかった。2004(平成16)年に私がバンングラデシュで浄化の仕組みを解説した時、「緩速ろ過でないね、名前を変えないと浄化の仕組みを誤解される」と指摘され、「Ecological Purification System 生物浄化法」と言い出した(図45)。それから20年が経過した。自然界の浄化の仕組みを真似た仕組みは、省エネで良質の水がで

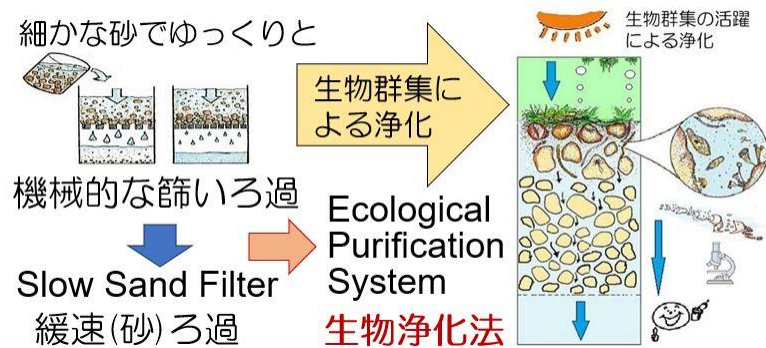


図45 緩速ろ過でなく生物浄化法だった

き、素人でも浄化装置ができた。水道業界は「緩速ろ過技術は儲からない技術」なので無視されてきた。日本にも世界にも生物浄化法という考えの緩速ろ過処理の解説本が無かった。生物浄化法という考えとその技術は、信州大繊維学部発だった。そこで信州大学繊維学部同窓会の千

曲会に頼んで「おいしい水のつくり方」を出版してもらった(図46)。全頁カラーで写真が豊富で、QRコードが70以上もあり参考文献や参考動画に飛ぶ工夫をしてある。日本で唯一の技術解説本である。同窓会は宣伝が上手くない。この本は直接に同窓会に注文しないと手に入らない。日本の水道事業を健全にするために、本誌「水道公論」で、この連載を続けさせてもらっている。
 「持続可能な開発目標(SDGs)」に関心が寄せられている。生物浄化法は、この目標に合致する考えと技術と思っている。

2021年2月12日
 600部 B5版 160p
 ¥1500+税¥150
 +送料¥250

〒386-0018
 上田市常田3-8-37
 信州大学繊維学部
 同窓会 千曲会
 Tel:0268-22-4465
 Fax:0268-22-4465
 E-mail:
 schikuma@siren.
 ocn.ne.jp

図46 唯一の技術解説本

日本で唯一の緩速ろ過を生物群集による浄化という考えの解説本。

皆が購入しやすいように、(108) (2025/1月号) 水道公論
 信州大学繊維学部同窓会に廉価にと、定価 1500 円にしてもらった。オールカラーで写真が豊富。注文して手に取っててください。