

連載

生物屋の緩速ろ過池研究

プロローグ：緩速ろ過は生物浄化法だった

信州大学名誉教授 中本 信忠

1. 緩速ろ過と出会う

長年にわたり信州大学で緩速ろ過の研究を進めてきた中本名誉教授。緩速ろ過のろ過速度は、砂が動かず、生物群集に優しい速度であり、浄化の鍵は生物群集の活躍であると指摘。緩速ろ過の名称を生物浄化法に変更するよう提唱している。今号から数回にわたり、中本名誉教授の研究成果を紹介いただきつつ、そうした考えに至った道程、生物浄化法のメカニズムなどを解説していただく。

ろ過池で繁殖する藻は「良い藻」という。

生物屋の私は自然界には「悪い藻」はいないと思っていた。私たちが生物の取り扱いを間違っているのではないかと思った。浄水場のろ過池を見学すると水面には藻が大量繁殖していた（図1、図2）。

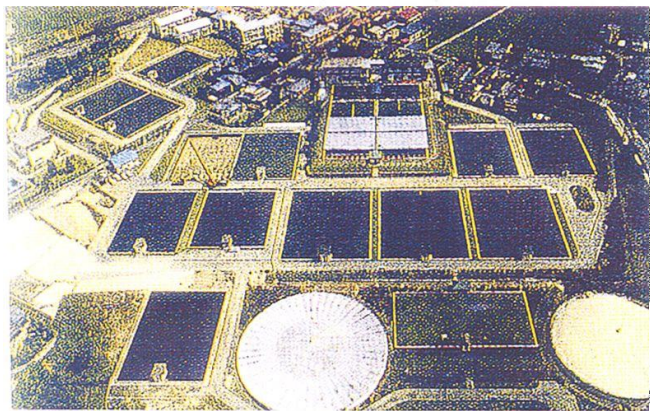


図1 1985年当時の染屋浄水場



図2 ろ過池で藻が大繁殖

顕微鏡で観察すると湖沼などで繁殖する藻でなく真綿状になる糸状の珪藻メロシラだった（図3）。

2. 蚕都上田に染屋浄水場

上田市には奈良時代に建設された信濃国分寺がある。長野県は高冷地で江戸時代から養蚕や製糸業が盛んであった。上田地域は溜池が多く、降水量が少なく、乾燥している。そのため蚕は病気になる

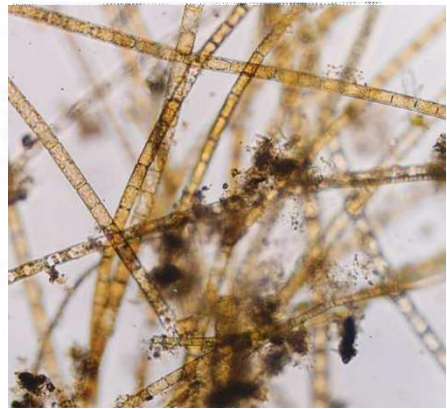


図3 糸状珪藻メロシラ

にくく、良質の蚕の卵の生産地として江戸時代から有名であった。この地域は明治になっても重要産業地域として注目されていた。

1892（明治25）年に小県蚕業学校（現在の~~上田東高校~~）が、1910（明治43）年に日本で初めての国立蚕糸専門学校（現在の信州大学繊維学部）が開校した。

上田でも近代水道施設を求める動きが盛んになり、上田町は上田市になり横浜、甲府、高崎などの緩速ろ過による浄水施設を視察し、染屋浄水場を建設し1923（大正12）年4月に稼働させた。間もなく100年になる。

上田市には千曲川が流れていて、その河床から伏流水を取水し、染

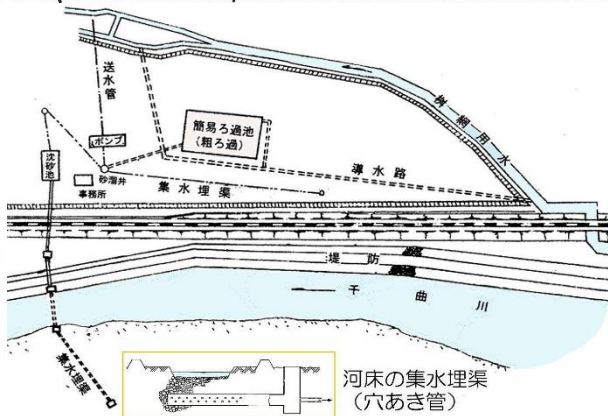


図5 水道水源は伏流水

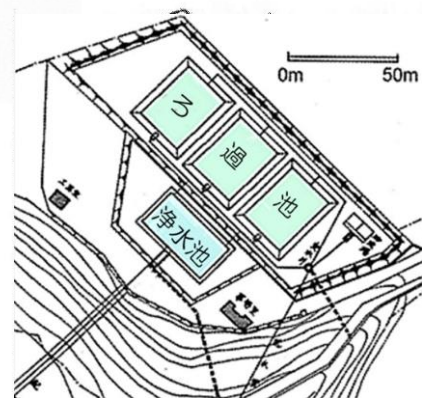


図4 建設当時の浄水場

屋台に揚水して緩速ろ過処理をするようにした（図4）。



図6 1932年から稼働し続けているろ過池

原水は濁りがない伏流水なので当時の浄水場には緩速ろ過池と浄水池だけであった。また千曲川を横断して穴開きの集水パイプで取水していたが、台風で流される事故があり、灌漑用水路からも取水し簡易ろ過（砂利ろ過）で濁りを除いて浄水場へ送水していた（図5）。

染屋浄水場には1923（大正12）年から使い続けている緩速ろ過池がある。このろ過池の壁面は斜めで粘土層の上に花崗岩のブロックが敷き詰めてある（図6）。

校正ミス
32⇒23

産業革命時代の英国ロンドンでは人口が集中しテムズ河が下水で汚れていた。当時の水道会社は河水をそのまま給水していた。チエルシー水道会社に就職したシンプソン（James Simpson）は28歳の時、清澄な水を求めて英国中を調べ回ったのは「純水の探求（The Quest for Pure Water）」として有名である。1827（文政10）〜28（文政11）年にかけて、河水を沈殿池で濁りを沈め、砂ろ過層で上から下へ流して、清澄な水をつくる実験をした。当時の砂ろ過池の砂面上の水深は38センチと浅く、砂層と礫層はそれぞれ61センチであった（図7）。その後、実用

3. ロンドンで緩速ろ過の完成

蚕糸専門学校には東北大学農科大学（現北海道大学）で微生物学を学んだ佐藤利一講師がいて、浄水場を建設する際は協力していたと思われる。1918（大正7）年に教授になり、1926（大正15）年5月から2年間独仏に留学した。1年半はベルリンのロベルト・ロッホ（Robert Koch）研究所で微生物学を学んだ。

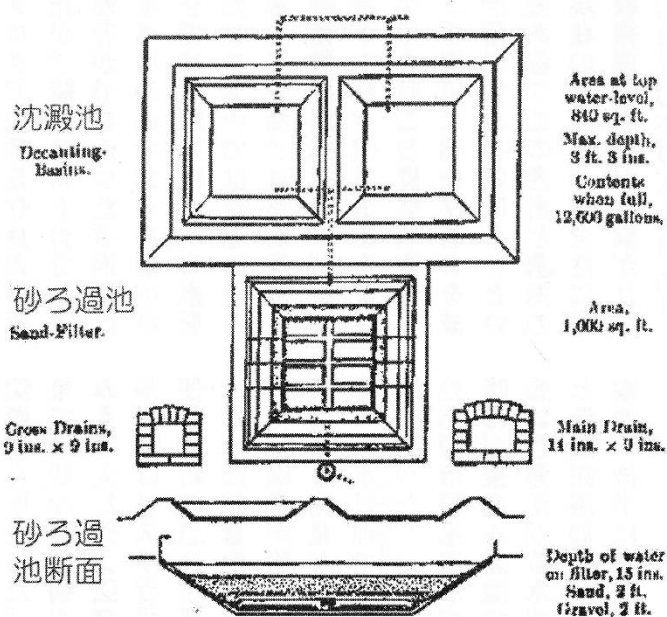


FIG. 28. JAMES SIMPSON'S EXPERIMENTAL FILTER OF 1827-1828

図7 実験用ろ過池

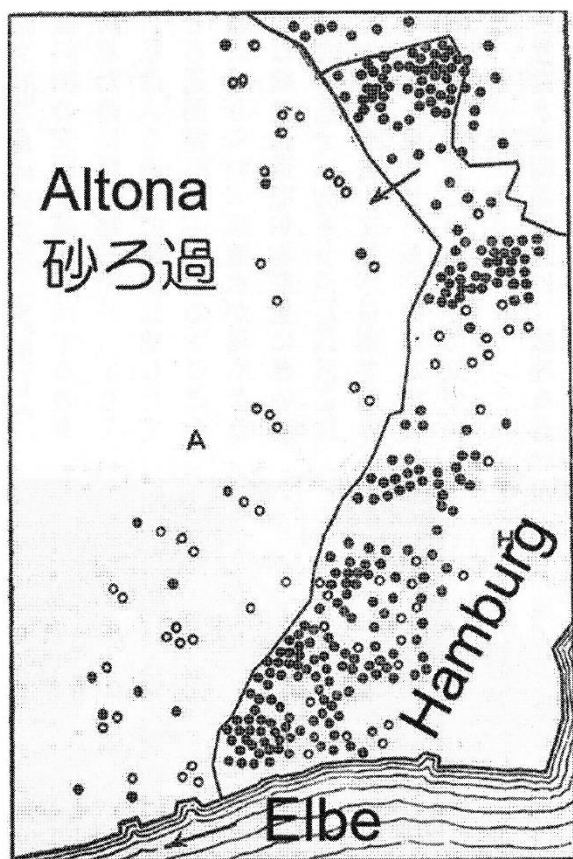


図8 1892年のコレラ患者分布

の施設をつくりロンドン市内に給水した。残念だが、この実用図面は残されていない。当時のろ過速度は1日に2〜3倍（1時間に約10倍）と遅かった。単に細かな砂でゆつくりとろ過すると清澄な水ができるので、緩速（砂）ろ過（Slow Sand Filter）として評判になった。

ロンドンでコレラが流行した1854（安政元）年、スノウ（John Snow）はロンドンのソーホーで起きたコレラの発生原因を調べた。

当時コレラは空気感染とされていた。しかし、コレラ菌で汚染された井戸水を利用する地域ではコレラ患者が多く、砂ろ過をした水を利用した地域ではコレラになりにくいことがわかり、コレラは水系伝染病であるとわかった。この事実で英国式緩速ろ過は汚れた水から病原菌を除けるとして評判になった。

当時の日本は幕末で開国していなかったが長州の若者5人が1863（文久3）年から1年間ロンドン大学に留学した。また、徳川将軍の名代・徳川昭武に随行して渋沢栄一ら一行が横浜からフランス船でパリ万博に出品するために1867（慶応3）年正月に出港した。パリだけでなく近隣諸国を視察したが、徳川幕府が瓦解し1868（明治元）年11月に帰国した。当時の欧州は英国式緩速ろ過は病原菌が除け安全な飲み水にする最新の浄化技術として広まりだした時期であった。

明治維新以降、日本は欧米の最新の技術を率先して導入した。1887（明治20）年に横浜に英国

人パーマー（H. S. Palmer）の指導で英国式緩速ろ過施設が初めて完成した。その後英国人バルトン（W. K. Burton）が東京帝国大学初代衛生工学教授として活躍し、日本の上下水道の近代化に貢献した。

4. コッホの活躍と緩速ろ過

コッホは1884（明治17）年にコレラ菌を発見し、1892（明治25）年にドイツの港町ハンブルグでコレラが大流行したときに、コレラ患者の分布を調べ、緩速ろ過をすればコレラ菌が除けていることを明らかにした（図8）。

ハンブルグでは7500人の死者が出たが、隣のアルトナではほとんど死者がなかった。水源は同じエルベ川の水であったが、ハンブルグでは沈殿処理だけの水を給水し、アルトナでは緩速ろ過の水を給水していた。コッホは水道水中の細菌数を調べ、1^{ミリリットル}中に一般細菌が100個以下ならコレラ患者がでないことに気づき発表した。この事実は感染リスクを減らせば無菌にする必要はないということである。この考えと基準の数値は現在の水道水の安全性に関する一般細菌基準に引き継がれている。

上田市の染屋浄水場が1923（大正12）年に完成した2年後に蚕糸専門学校の微生物学が専門の佐藤教授が主な留学先としてロベルト・コッホ研究所を選んだのも納得がゆく。

5. 生物処理の誤解に気づく

戦後は濁り水対策で凝集剤を使う急速ろ過の導入が盛んになった。上田市の水道需要も増加し、1953（昭和28）年から菅平高原から流れる神川の表流水を取水し、

沈殿池も増設した。また濁り水対策で最新の凝集剤を添加する仕組みも導入した（図9）。

当時はアメリカ式の凝集剤を使う最新の急速ろ過は万能と思われていた。しかし急速ろ過では藻臭や土壌臭が除けず活性炭処理や凝集剤の開発が盛んであった。当時の浄水処理では藻対策が重要課題であった。

上田市の水道水が臭くなった当時は、緩速ろ過池で繁殖する藻が悪いと考え、着水井で前塩素添加と硫酸銅添加をしていた。また沈殿池の後半には濁りを効果的に沈

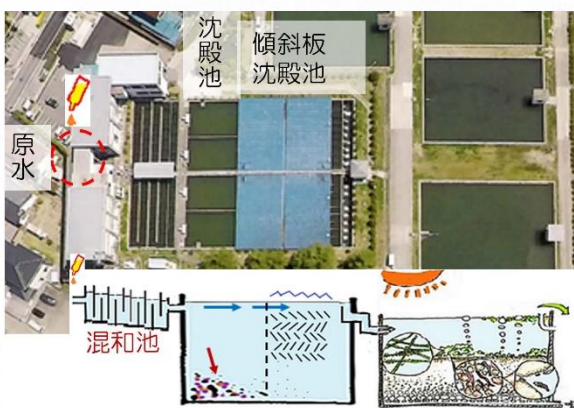


図9 染屋浄水場の濁り対策

殿させるため傾斜板を設置した。傾斜板の表面に藻が繁殖するのを防ぐために覆いをした。

私は「ろ過池で藻が繁殖しだすとろ過閉塞しにくくなる」ことを教えてもらい、水道水が臭くなるのは緩速ろ過で生物群集に悪い前処理をしていることに気づいた。そこで、過去の文献、日本各地の浄水場を見学し、多くの浄水場で誤解処理をしていることに気づいた。

私は水道関係雑誌に、緩速ろ過池での藻の役割、生物処理の仕組みについて発表した。当時は、古い技術の緩速ろ過処理に関する発表には皆が関心を示してくれなかった。そこで生物屋の私は水道関係者だけでなく一般の人々に生物処理の緩速ろ過に興味を持ってもらおうと、新聞などにも投稿をした。また2002（平成14）年には水道関係者だけでなく一般の人にもわかってもらおうと縦書きの本「生でおいしい水道水—ナチュラルフィルターの緩速ろ過—」を築地書館から出版してもらった。

私は日本および世界各地の浄水場を調査し、産業革命時代に最初

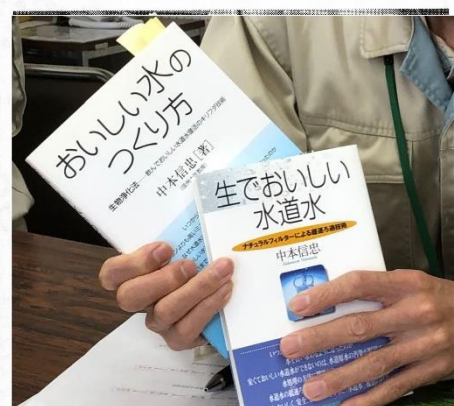


図10 生物浄化法の解説本

につけられた緩速ろ過という名前が誤解の原因ということに気づいた。当時は顕微鏡も発達してなく、微小生物の活躍が浄化の鍵ということが分かっていなかった。大学の研究技術者として生物群集の活躍という視点での技術解説本を出したくなり、2005（平成17）年に「おいしい水のつくり方—生物浄化法—」を出した。この2冊は水道関係者にとり、緩速ろ過に関する唯一の解説本として長く読まれている（図10）。

私は2008（平成20）年に信州大学を定年退職してから、国際協力機構（JICA）の短期専門家として海外で安全な水を求める人のために出かけた。国内での

研修に協力をしていた。毎回、解説資料を改良し、日本の水道関係者にもわかるように日本語を併記した資料も作成していた。また何度も手作りで冊子にし、自費出版をして配っていた。

2019（令和元）年6月には「生物浄化法による安全な飲料水の普及」で日本水大賞・国際貢献賞を、同年10月にはJICA理事長賞をいただいた。私は、2005（平成17）年に出版した技術解説本を出版してから15年も経過し、その間に新しい発見も多数あり、大幅に増補改訂をしたくなった。そこで「おいしい水のつくり方-2（緩速ろ過でなく生物浄化法）」（B5版、全ページカラー、160ページ）と題した冊子を2020（令和2）年8月に自費で印刷した。

私は時々、繊維学部同窓会館の千曲会事務局に立ち寄り、私の学科の卒業生である石坂征洋専務理事と談笑していた。そこで、この冊子を同窓会（千曲会）事務局に謹呈した。私の手持ち在庫が少なくなり、もし良かったら同窓会出版で出してくれるとうれしいと頼んだところ、同窓会で出版して

くれることになった。そこで原稿を推敲して誤字などを修正し、2021（令和3）年2月に千曲会出版で市販本（定価1500円＋税150円＋送料250円）で出版してくれた（図11）。



図11 最新の解説本

また、私は全国簡易水道協議会の隔月機関誌「水道」の3月号に生物浄化法の解説を投稿し、千曲会出版の冊子を紹介した。

6. ハンブルグの版画に出会う

先日（2021年6月25日）、同窓会館に寄ったら、石坂理事は会館3階の倉庫で古い資料を整理していた。私は廃棄用段ボール箱に紙屑と一緒に汚れて穴が開いたヨーロップの古い建物のエッチングが入っているのに気づいた（図12）。

私は古い絵が好きで、何となくどこか見たような景色だなど、気をつけてみる。Hamburg Binnentalsterと書いてあった。貫つて家に帰り調べてみたところ、ハンブルグのアルスター内湖の絵であった。もしかしたら100年前に佐藤教授がハンブルグに行き、手に入れたものかと思った。早速、グーグルマップで調べたら、絵にある教会、建物がそっくり残っていた（図13）。

欧州は古い歴史がある建造物を大切に使い続けている社会である。数百年前に建設された大学の建物をそのまま大切に使い続けている。古文書も大切に保管し、調べようとしたら見つかる。

産業革命時代のロンドンでシンブソンが1829（文政12）年に沈殿池と上から下へ水を流す緩速（砂）ろ過を完成させた。緩速ろ過でコレラ菌が除けることがわかったのはハンブルグでコッホが1892（明治25）年に調べてわかった。そんなに昔の事ではない。

私は信州大学繊維学部で1975（昭和50）年に就職し1984（昭和59）年に緩速ろ過と出会い、



図12 古いハンブルグ内湖の絵



図13 現在でも同じ景色がある

現在まで37年間もの長い間、生物処理の緩速ろ過と関わり続けてきた。緩速ろ過は単に細かな砂での機械的な篩いろ過でなかった。生物屋の私は生物群集の活躍による浄化が鍵と気づき、どんな生物でも役割があると発信を続けてきた。昔のハンブルグの版画と出会ったのは、誰かがこの機会をつくってくれたと思われて仕方がない。

この事を石坂理事に話したら、この版画は蚕糸専門学校を1928（昭和3）年に卒業した笠原製糸の元社長の笠原正己さんからの寄贈と教えてくれた。この笠原製糸は1900（明治33）年、上田に常田館製糸工場を創設した会社で昭和天皇が2回も訪問されている由緒ある会社である。笠原さんは佐藤教授からハンブルグとコレラの関係を教えてもらったかと思った。なお、繊維学部へも昭和天皇が皇太子時代の1919（大正8）年に、平成天皇が2016（平成28）年に訪問されている。

7. 温故知新

私は明治生まれの両親に育てられ、東京の家には幕末に活躍した

佐久間象山の「積善」という掛軸を見て育った（図14）。100年、200年は、そんな昔の事ではない。緩速ろ過技術が完成した産業革命時代、コレラ菌が除けるとわかったのは1892（明治25）年、この技術は古い技術ではない。

私は大学で、研究を始める際は、「引用ではなく、原著論文を読みなさい、著者の最初の著書を読みなさい。最初の論文や著書には研究者の発想の原点が書かれている」と教わった。私の大学時代はコピーをするのが大変で、カメラで白黒写真に撮り印刷して読んだ。学術雑誌の別刷り、本が頼りであった。大学院時代は複写ができるようにになり、古い文献を探して複写し、線を引いて読んだ。また苦勞をして他大学の図書館に複写を依頼した。現在は簡単にネットで検索し、文献をPDFで読めるようになった。欧米の大学などでは古い本もデジタル化し日本からでも簡単に手に入るようになった。この100年間の科学技術の発展はもの凄い。特に必用とされる技術の発展のスピードは速すぎ、追いついて行くのは大変である。



図14 佐久間象山の書「積善」

度だった。私は2005（平成17）年に浄化の鍵は生物群集の活躍であり生物浄化法（英語では Ecological Purification System）と名前を変える必要があると気づいた。名前を変えると新しい考えの技術として再発見が多数あった。現在でも世界中で緩速（砂）ろ過は誤解されている。生物屋の私は、この誤解を解くための努力を長い間してきた。現在、実効性があるSDGsが注目されだした。次回から本誌で何回かに分け、緩速ろ過でなく生物群集による浄化の賢い活用と強調した解説を連載させてもらう。

また本年、厚労省は上田・長野間を統合する省エネ水道システムをモデル事業として提案した。最上流に上田市の染屋浄水場がある。正に染屋浄水場が稼働し出して100年になるうとしている。正に温故知新と思う。

9月号 ■話は変わるが、今号から、信州大学の中山名誉教授による新連載「生物屋の緩速ろ過池研究」がスタートする。連載開始に当たり関連する書籍を何冊か読み込んだが、緩速ろ過と藻類に対する印象が一変した。全国津々浦々で緩速ろ過が適しているともまでは思われないが、少なくともその効能を改めて見直しても良いかもしれないと感じた。中山名誉教授が長年にわたり蓄積された知見の一端に触れ、地域に最適な水処理のシステムの構築に活用していただければ幸いである。

水道公論

編集後記