

日本水道新聞社の月刊雑誌：

水道公論 62 (8) : 71-83, 2026 年 8 月号

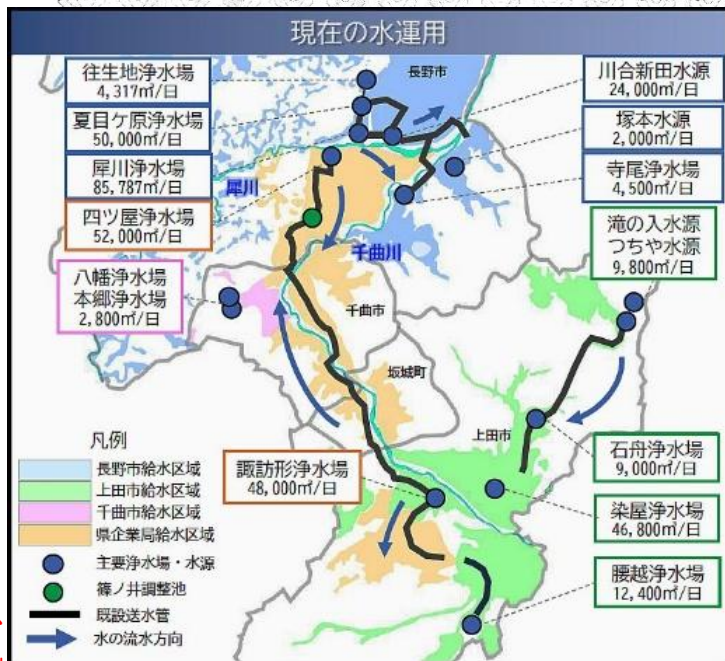
雑誌の印刷は白黒。写真を元のカラーへ、追記もした。

載

生物屋の緩速ろ過池研究

その59 NHLで目詰まり度評価、生物浄化法と名前を変えよう

信州大学名誉教授 中本 信忠



「現状の水道広域化には反対」と訴えた斉藤達也上田市長が3月29日に当選した2カ月後の2026(令和8)年5月29日に水道事業広域化協議会が開催された。この会では、これまでと根本的に違う案が提示された。

1 第7回上田長野地域水道事業広域化協議会でこれまでと違う案が提示された

現在の水運用(図1)は、県企業局は、上田市の諏訪形浄水場から長野市の篠ノ井までを給水している。これまで、上田市民に説明してきた水運用は、上田市の染屋浄水場の水を長野県企業局の諏訪形浄水場(県営)に送り、県企業局のポンプや配水池を経由して上田市内の県営給水区域に市営の水を給水する。余った県営の水を下流部に送水するという案であった(図2)。上田市の

私は、県企業局の急速ろ過処理が問題であったので水道事業を広域化する案を勧めたかと思っていたが、長野市の水道施設のほとんど、今回初めて長野市内の浄水場のほとんどが、縮小、廃止する計画を示す図が提示された(図3)。

水道広域化は災害対策に逆行。小規模分散で、自分らの水は、自分らでと声をだしてきた。

、染屋の水を、県営の諏訪形へ、長野市まで。



図2 2025年の水運用計画案

災害対策で、送水管を2重管にする。莫大な費用がかかる。その経費で、下流に緩速ろ過の浄水場を建設した方が良い。

2026 年5月29日の協議会資料を見て、驚いた。染屋から直接下流へ。県営の諏訪形浄水場を縮小、長野市はほとんど縮小・廃止。千曲市も廃止。何で、上田にだけ、頼るのか。

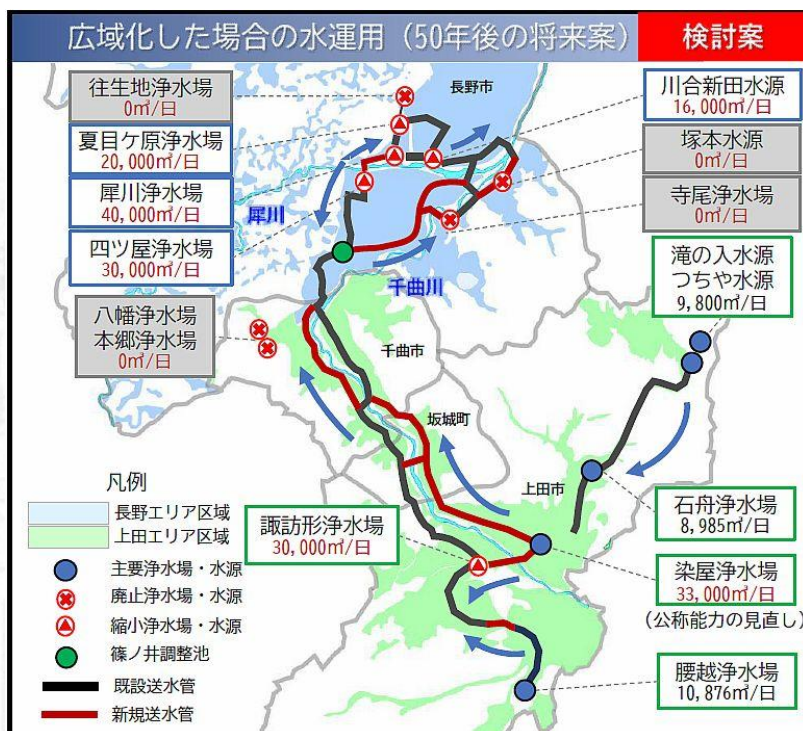


図3 2026年の水運用計画案



図4 上田市営以外は縮小する計画案

長野市の縮小・廃止、県営の縮小は、更新を繰り返して、経費が掛かり過ぎる施設。千曲市の緩速ろ過を廃止する。何でこんな案を提示したのか。

んどを縮小または廃止する案を見て、長野市の水道事業は大きな問題を抱えていたのに気づいた。大地震に遭遇すると、大きな水道本管は、何力所も破断する事がある。大きな水道本管の復旧には、地元の中小的業者で対処できず相当の日数が必要である。能登半島地震などの大地震での被害の教訓が生かされていない水道事業の広域化案だった。

補助金は事業の全額を補助され、借金を返せなくなる。コンサルに頼らずに、自分たちで考える必要がある。そこで私は「水道事業を健全化するには、補助金をもらわない選択もある」という動画を作成し公開した(図5)。この動画には本連載の先月号(7月号)で紹介した岡山県津山市と新見市で人口減少時代に解決策を自分らで真剣に検討し実行し成果を上げている事例を参考に紹介した。

2026年5月29日の第7回協議会



図5 2026年の第7回検討会

上田市のパンフでは、染屋浄水場の浄化能力は1日4万6800トである(図6)。上田市には染屋浄水場にはろ過面積780平方メートルのろ過池が13池あり、上流に同じろ過面積のろ過池が5池ある石舟浄水場がある。パンフでは9万6000人に1日平均3万2000トを送水し、1人1日340リットル給水しているとある。本年6月の水道週間染屋浄水場見学者に配ってくれた上田市作成のパンフ(令和8年4月作成)では1人1日230リットルと書かれてあった。この数字は、もともと「市民説明会で説

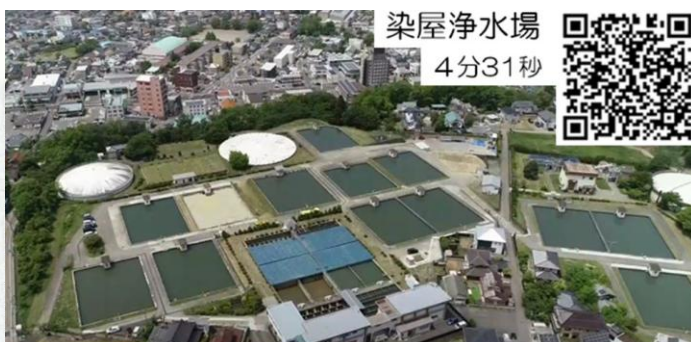
第7回協議会の案が前回までの案と根本的に異なっていた。朝日新聞長野総局の記者から染屋浄水場を見学したいと私に連絡があった。染屋浄水場に見学許可願いを出したら、記者が上田市上下水道局の考えと異なる事を書いては困るとのこと、「場長が直接に説明したい」とのことであった。議会対応が終わった6月18日(金)午前に見学が実現した。

2 上田市上下水道局は浄化能力がないと言っ

2021年から協議してきた、水道広域化検討案は、これまでと基本的な考えが異なる。根本から、考え直す必要がある案だった。

新しい上田市長が当選して、初めての会合で、これまでの放心と違う案が提示された。

日本一、降水量が少なく、溜池が多い上田市。長野市は、元々、水が豊富で、沼だらけの盆地。水に困っていないので、水源開発をして来なかった。上田市では、100 年前に、緩速ろ過による浄水場が建設された。動力、薬品なし、操作も手動で行う。停電対策は必用ない。上田市の職員だけで、維持管理できる。水質が良く、水道料金も安い。浄化能力も余裕があるので、注目された。



染屋浄水場
4分31秒



780m²のろ過池で5m/dでろ過、一人1日0.3m³給水なら
1池の浄化能力 = 3,900m³/d = 13,000人/日
13池の12池使用で = 46,800m³/d = 156,000人/日

図6 染屋の浄化能

浄化能力があっても、水利権の関係で水をつくれな

（5m/d）と比べると遅い速度でろ過を想定していた。

3 水道協会の指針の緩速ろ過に

日本水道協会の最新の維持管理指針（図7）の緩速ろ過総則は「砂層を4～5m/dでろ過する」とある（図8）。この記述「砂層を」とあるが、「ろ過速度とは砂層上の未ろ水の流速」で、砂層内の流速でない。この記述は間違いである。水は砂層内の砂と砂の隙間を流れる。その空隙は容積の約半分。「砂層内の水の流れは約倍」になる。大

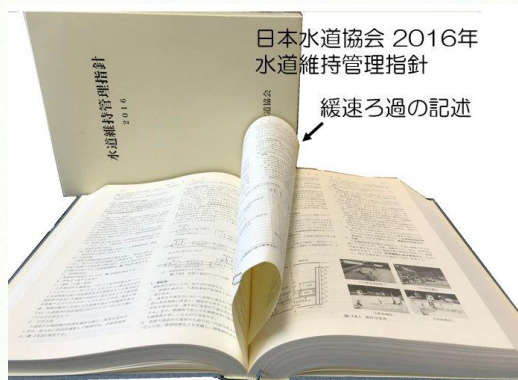


図7 2016年の維持管理指針

日本の指針には、緩速ろ過の記述がほとんどない。

部分の生物群集が活躍しているのは砂層上部約1センチメートル。その厚みを通過する時間は約1分。浄化に時間がかかると思われているが、瞬間的に生物群集が活躍し浄化している（図9）。
指針では「砂層のごく表面に形成される生物ろ過膜により浮遊物が抑止される」とあるが、「微小動物の活躍による捕捉と分解」という「生物群集による浄化」の記述がない。「ろ過膜」でなく、「砂面と砂の間で活躍する生物群集の活躍」である。この記述を書いた人は、緩速ろ過処理 Slow Sand Filtration は細かな砂でゆっくりと機械的な篩いる過が主と考えて

7.6 緩速ろ過池

水道維持管理指針
2016年 p 316

7.6.1 総則

緩速ろ過法は、砂層を4～5m/dのゆっくりとした速度で水を通過させるろ過法で、原則として薬品は使用せず、自然の浄化能力を利用するものである。ろ過は、砂層表面や砂層に繁殖した微生物群の働きなどにより行われ、物理的、生物学的に濁質、細菌等の浮遊物や、アンモニア態窒素、鉄、マンガン、臭気物質等の溶解性物質が除去される。

緩速ろ過法は、伏流水など比較的水質が良好な原水に適する方法である。緩速ろ過池では、砂層のごく表面に形成される生物ろ過膜により浮遊物が抑止されるので

図8 指針のろ過速度は4～5m/日

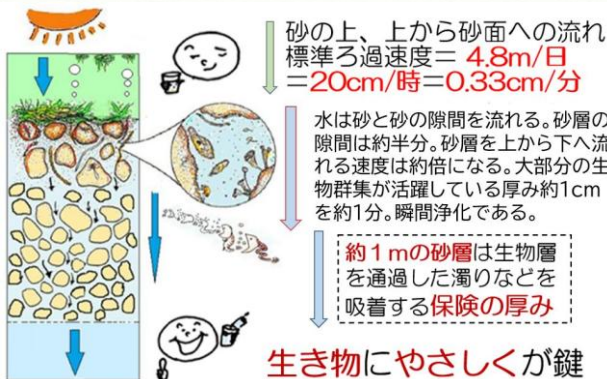


図9 緩速ろ過は瞬間浄化

いる。以前は、「粘質状・ゼラチン状のろ過膜を形成」と書かれてあった。ろ過継続中の水中ではろ過池の砂面で立体的に生物群集が活躍しているが、削り取り時に水を抜き、立体的に活躍していた生物群集が砂面に付着したようになり、その状態を粘質状・ゼラチン状と表現していた。実際の水中の状態を見ていない人が指針を書いている。
私は上田市の緩速ろ過池での藻の役割を研究し、緩速砂ろ過と言

単に、砂層を1日に4から5mで流すだけ。薬品は使わないとある。

砂層上部で生物が活躍して浄化。生物が活躍している層を通過する時間は約1分。瞬間浄化だ。砂層が1mとは、保険の層だ。人工的に、自然界の湧水をつくる仕組み。

上田市では、小さな生物が、おいしい水をつくる主役という看板をつくってくれた。

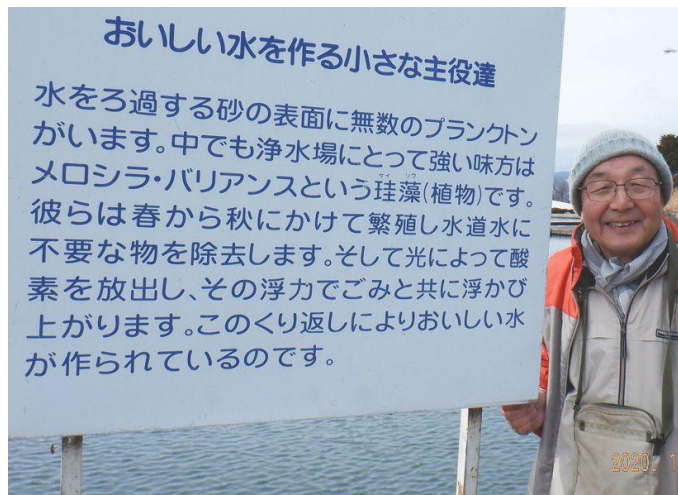


図10 上田市の藻の役割看板

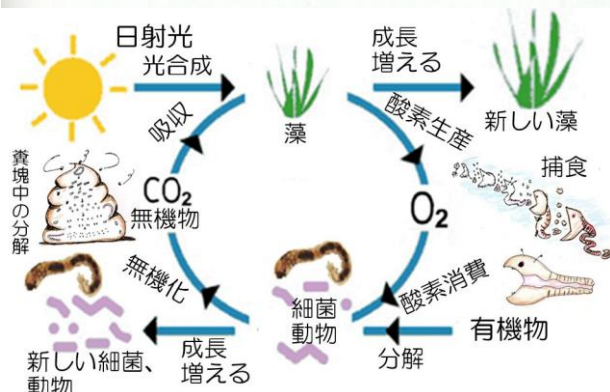


図11 藻と微小動物の関係

4 藻の繁殖は生物活性を高め浄化能が良くなる

私は学生と一緒に調査していた時は、ろ過池水面には、浮上している藻が目立った。そこで染屋浄水場では浄水場見学者にろ過池の水面に浮いてくる藻の役割を解説に伝わっていない。

今回の、新聞記者を案内した時は、ろ過池の水面には浮いている藻が目立たなかった。現在の浄水場職員は「ろ過池で藻の繁殖の役割」について理解しているとは思えず、記者へ看板を見せようとしなかった。また水道協会の指針では「ろ過池水深は砂面上90～120cmを保持」(図12)とあるのに、場長の説明では「ろ過池水深を1～1.5mにしている」という。日本の指針とは違っていた。ろ過池水深が深いため、砂面での水圧が大きく、底まで日射が届きにくく、砂面でやっと光合成をしても、気泡が生じにくく、藻が底の砂面から剥離浮上しにくかった。

2000年前、シンブソン・Simpsonがロンドンのテムズ河の水を浄化処理実験した緩速ろ過池の水深は38cmしかなかった。ろ過池では藻が大繁殖し、多くの微小動物が砂面近くで活躍して汚れた河水水を浄化していた。

私は、ろ過池に多少の濁りが入ってもろ過池の砂面に十分に日射が届く深さ、砂面が見える深さだと、底で藻が光合成できる深さであるので、その深さが良いと思っている。多少の濁りがろ過池に入っても、光合成で生じた気泡の浮力で浮き上がり、砂面への濁り負荷を軽減する。そのためには浅い水深が良い。

説明している場長は「緩速ろ過処理は生物群集による浄化が鍵」とは思わず「緩速ろ過処理は細かな砂での篩いろ過」と誤解していると思われた。

私は群馬県高崎市の若田浄水場を調べさせてもらった。この浄水場は高崎市にキンビールの醸造工場の建設に合わせて新設された新設した浄水場は濁り水対策で凝集剤を使う仕組みであった。しかし、凝集剤を使うと、キンビー

ろ過池で藻が繁殖すると、ろ過閉塞しにくくなり、おいしい水になるとわかり、学生と研究してみた。

藻は光合成で酸素をつくり、動物が活躍しやすい環境をつくっていた。

7.6.3 ろ過池

水道維持管理指針2016年 p 317

1. 運転

- ① ろ過池の水深は、砂面上90～120cmを保持させる。
- ② ろ過速度は4～5m/日を標準とする。原水水質が良好である場合でも、最大でも8m/日以内とする。なお、「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」では、クリプトスポリジウム等によって水道原水が汚染されるおそれのある場合、ろ過速度は概ね5m/日を超えないように、また、ろ過速度の急激な変化が発生しないようにするとある。

図12 砂面上の水深

微小動物は、何でも捕まえて食べて、分解していた。動物は餌を求め、砂層上部で動き回るので、砂層は目詰まりしなかった。動物の糞塊の中で、微生物が活躍し、生物分解が活発になっていた。生物群集の活躍が鍵であった。生物群集にやさしくするのがコツだった。



図13 水深を浅くした

高崎市の若田浄水場は、藻の繁殖は悪いとの考えで建設された。水深を浅くする方が、生物活性が良くなると解説し、水深を浅くした。

この浄水場のろ過池水深が深く、藻の繁殖が悪かった。そこで私は「水深を浅くし、藻を繁殖させ、微小動物の活性を良くする方が良い」と解説した。当時の場長は、私の説明を納得し、水深を浅くした(図13)。その結果、削り取り作業が楽になり喜んでくれた。しかし、藻の繁殖が目立つようになったので、ろ過池の脇に藻の役割看板「藻は正義の味方」という看板を立ててくれた(図14)。

「藻は正義の味方」の看板をつくってくれた。



図14 藻は正義の味方

生物が活躍するには、酸素が必要だった。でも、維持管理で酸素を測定する項目がない。

日本水道協会の指針には「砂層内部の酸素不足による障害」という項目がある(図15)。「砂層内部の溶存酸素が不足すると、砂層内部が嫌気状態になり不溶性の鉄、マンガンが還元され溶出し着色す

5 遅いろ過速度だと、砂層が嫌気状態になる危険性がある

私は上田市より水面に浮く藻が少ないのは、単に水深だけでなく、海拔高度が低く、気圧が大きい事も気泡が生じにくくなる事にも気づいた。

水道維持管理指針 2016年 p 878

5. 砂層内部の酸素不足による障害

生物ろ過膜は、好気性細菌を主体としているので、水中に溶存酸素がなければ機能を十分発揮することができない。砂層内部の溶存酸素が不足すると、砂層内部が嫌気状態となり不溶性の鉄、マンガンが還元され溶出し着色することがある。原水中の溶存酸素が低い場合は、原水をエアレーションするなどして溶存酸素濃度を維持する必要がある。

酸素不足で障害とある

図15 砂層内の溶存酸素濃度に注意

東京都水道局(当時)の小島貞男さんは多摩川の伏流水を取水する緩速ろ過池(砧浄水場)で溶存酸素濃度の日変化を測定した結果(図16)を報告していた(『ろ過「I」清澄ろ過」小島貞男、1996(昭和43)年)工学図書。原水は大摩川の伏流水で午後2時頃に大きく、段々と下がり夜明け時頃に最も下がる日変化をしていた。小島さんの図では午前11時頃か

ろ過水中の溶存酸素濃度が上がりだす。3月15日の日の出は午前5時50分で、光合成をし出した結果は5時間後にろ過水に表れていた。砂層1層を5時間かかるなら、1時間に砂層20層を通過している。砂層上の未ろ水のろ過速度は半分になり、1時間に10層(1日に2・4層)のろ過速度であった。標準ろ過速度(1日に4・8層)の半分である。小島さんは、砧浄水場で、マンガンなどが溶出した経験を報告している。3月は水温が低い夏は、生物活性も良く

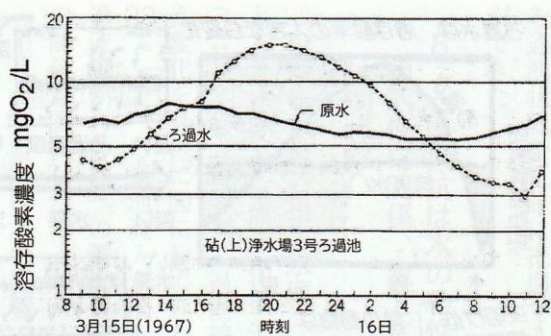


図16 砧浄水場で夜明けに酸素不足になった

藻の繁殖は、酸素不足になる場合がある事が注目された。

東京都の砧浄水場で、ろ過池で藻が繁殖すると、溶存酸素濃度が夜明けに極端に少なくなるのを、小島貞男さんが報告した。

⇒この現象は、ろ過速度が遅すぎた。

藻の役割、藻の活性を測定するのに、ろ過速度と溶存酸素濃度の変化に注目した。溶存酸素濃度の日変化に注目して評価した。光合成で酸素を生産し、細かな気泡が生じ、夜中も酸素がある状態を保つにに寄っていたのに気づいた。速いろ過速度が良い事にも気づいた。

テムズ水道を訪問し、藻と酸素、生物活性について解説した。

なるが、水温が高くなり水中の飽和溶存酸素濃度が低くなるので危険性が増す。

指針（図12、前出）の「ろ過速度は4〜5倍/日を標準とする」と記載するようになったのは、小島さんの報告があったからかと思っている。

上田市の場合、2章で解説するように、平均ろ過速度は「1日に2・4倍」で遅すぎ非常に危険なろ過速度である。上田市にろ過速度が遅すぎ、危険なので、ろ過速度を速くするように何度も助言してきたが、聞き入れてくれなかった。その原因は指針にろ過抵抗を評価する指標の解説がない事と

思っている。

緩速ろ過処理は溶存酸素がある状態で生物群集が安心して活躍する浄化処理である。

ろ過速度が遅く、水深が深いと、溶存酸素濃度の日変化が大きくなり、酸素不足になりやすい。マンガンの溶出だけでなく、砂層内部が汚れ、生物が死滅し臭い水の原因になる。指針では、そこまで解説していないのが残念である。

6 テムズ水道では溶存酸素濃度を測定し、ろ過速度を速くした

緩速ろ過処理を研究すると、速ろ過処理の発祥地英国ロンドンのテムズ水道を訪問したくなる。

私はスペインでの国際陸水学会前、1992（平成4）年8月19日にテムズ水道を訪問し、テムズ水道の研究者に「上田市での藻と微生物の役割」を解説した（図17）。

「生物群集の活性を溶存酸素の日変化で測定した結果を示し糸状珪藻メロシラの繁殖は役立つ」と説明した。テムズ水道は、その後「全てのろ過池の溶存酸素濃度とろ過水濁度のモニタリングを



図17 1992年テムズ水道を訪問

Michael Chipps Principal Research Scientist

中本さんの問い合わせ：速いろ過速度

テムズ水道の基準では0.5m/h(12m/日)で操作できます。しかし実際には、普通は0.25から0.35m/h(6から8.4m/日)でろ過をしています。しかし0.4m/h(9.6m/日)にしないといけない場合もあります。私たちは溶存酸素に注意しないといけないです。

貴方の訪問（1992年8月）以降、テムズ水道では、全てのろ過池のろ過水の溶存酸素と濁度のモニタリングを始めました。

ミカエル・チップス 主任研究者

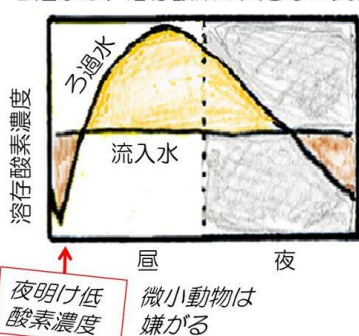
図18 テムズ水道は溶存酸素測定を始めた



した」と、テムズ水道の主任研究員が知らせてくれた（図18）。日本の指針では、最大8倍であるが（図12、前出）、現在のテムズ水道では、「最大ろ過速度は1日に12倍まで良い」と教えてくれた。

水深を浅くし、ろ過速度を速くすると、砂面上の水の滞留時間が短くなり、生物活性の日変化での溶存酸素濃度の変化幅が小さくなる

ろ過水は、溶存酸素の大きな日変化



溶存酸素の小さな日変化

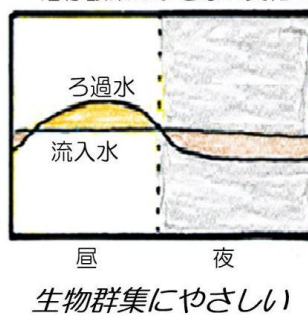


図19 ろ過速度を速くした

る（図19）。危険な低酸素濃度になるのが解消され、ろ過池で活躍する生物群集にとってやさしい環境になる。

テムズ水道では、実際のろ過池で、ろ過速度を変えて、溶存酸素濃度の変化を測定し、藻がある場合と無い場合も実験をした。

生物群集が多くし、ろ過速度を速くする方が良いという結論になった。

テムズ水道では、私の解説後、溶存酸素濃度の変化に注目してくれた。

⑧ ろ過池の損失水頭、ろ過水量、配水池水位等を定期的に観測、記録し、水量の調節を行う。

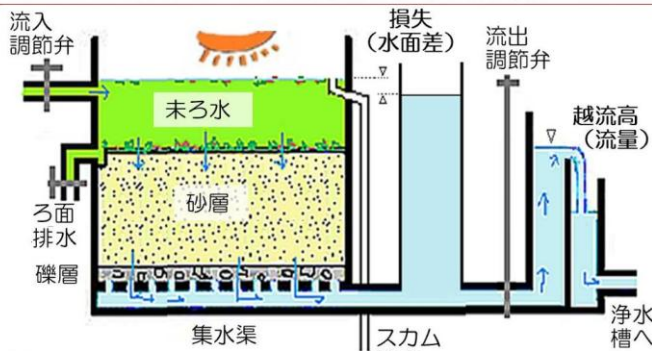


図20 損失とろ過流量をとる

日本の指針では、損失が目詰まり指標とあった。でも、この損失は、ろ過速度に比例して、そのままでは、目詰まり指標にならないのに気づいた。

7 日本の指針にろ過抵抗の解説がない

指針では「ろ過池の損失水頭、ろ過水量を定期的に観測、記録し、水量調節を行う」とある(図20)。損失水頭Head Loss: HLとはろ過池の水面とろ過後の水面差の事である。この水面差(損失)はろ過速度(V)に比例する(図21)。損失水頭HLは、目詰まり度の指標にならない。日本以外の国では、目詰まり度を標準ろ過速度(4.8 m/d)でろ過した場合の損失標準化損失水頭Normalized Head Loss: NHL)に計算して比較し

損失水頭(HL:実測の水面差)はろ過(流量)速度(V)に比例する。
 $HL = kV$

そこで、損失水頭(HL)を標準ろ過速度(Vn: 4.8m/d)でろ過した場合の損失水頭(標準化損失水頭 Normalized Head Loss: NHL)で目詰まり度を比較する。
 $NHL = (HL \times Vn) \div V$



図21 損失はろ過速度に比例

世界では、実測の損失から、標準ろ過速度での値に換算してろ過抵抗指標にしていた。

実際に、染屋浄水場で夏(8月)、ろ過継続に伴う実測の損失(HL)と標準化損失水頭(NHL)で比較してみた(図22)。ろ過継続に伴い、ろ過速度を少しずつ速くするので、実測の損失(HL)は少しずつ大きくなる。しかしろ過抵抗指標(目詰まり度:標準化損失水頭NHL)は、ろ過継続に伴って、ろ過抵抗に変わらなかった。

実際に、染屋浄水場で夏(8月)、ろ過継続に伴う実測の損失(HL)と標準化損失水頭(NHL)で比較してみた(図22)。ろ過継続に伴い、ろ過速度を少しずつ速くするので、実測の損失(HL)は少しずつ大きくなる。しかしろ過抵抗指標(目詰まり度:標準化損失水頭NHL)は、ろ過継続に伴って、ろ過抵抗に変わらなかった。

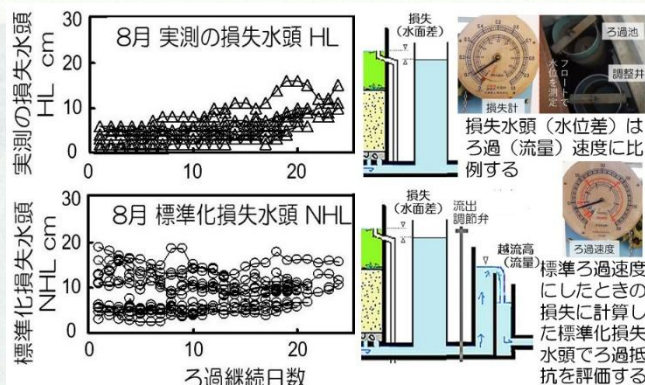


図22 目詰まり度はNHLで

実測の損失と、標準化損失水頭の違いを図示した。

ろ過池状態を正確に把握することができた。

8 ろ過抵抗は水の粘性と生物活性に関係、流入水濁度は関係ない

染屋浄水場の損失水頭(HL)とろ過速度から標準化損失水頭(NHL)を計算し、ろ過継続に伴う変化を月毎に図にしてみた(図23)。また、ろ過池流入水濁度とろ過流量から砂面への濁度負荷量との関係も図にした。

1月から雪解け水の影響で水温が低い3月までの期間は、ろ過継続に伴い、直ぐに目詰まりしていた。しかし、日射量が増え、水温が上がれば、ろ過池で藻が繁殖しだすと、ろ過抵抗は上がらなくなった。

1月から3月は少しの濁り負荷でも直ぐに目詰まりをするが、ろ過池で藻の繁殖が目立つ5月以降は目詰まりしなかった。

日射量が増え、水田に水が入りだすと、山で夕立が多くなり、降水があると、河川水は濁り、原水濁度は上がった(図23)。上田市では、原水濁度が10度を超えると、濁

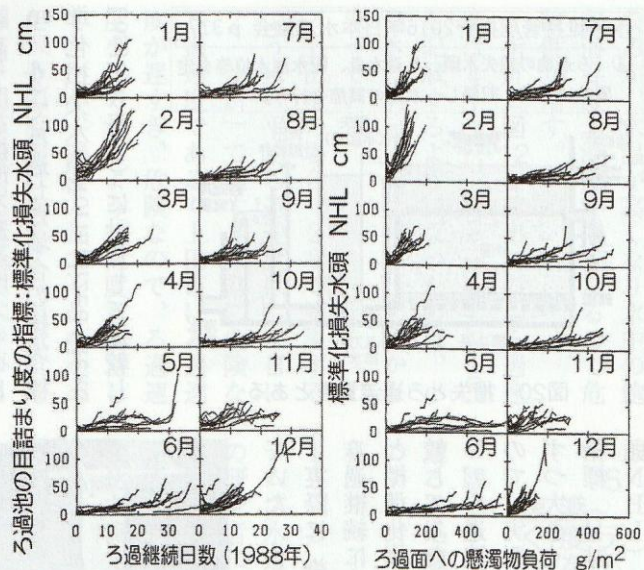
NHL(標準化損失水頭)の有用性、その解説をするようにしてきた。でも日本の指針に無いので、見向きされず、無視されてきた。

染屋のろ過抵抗の季節変化を NHL（標準化損失水頭）で月毎に、図示すると、抵抗は、水温に関係し、藻が繁殖したと、抵抗が上がらなくなるのが、明白だった。藻が繁殖すると、砂層上部で微小動物が活躍し、砂層を目詰まりさせないようになった。

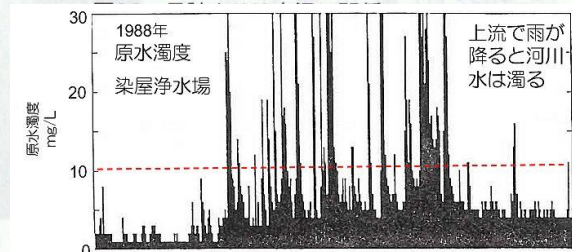
度の大きさに比例して凝集剤を増やして添加するようにしていた（図24）。染屋浄水場には濁り対策で沈殿池もあり、沈殿池でも濁りは沈み、ろ過池流入水濁度は、普通は10度以下であった。ピーク状の極端な濁りは大きな濁りで、沈殿池で沈みやすかった。凝集剤を添加するところ過池流入水濁度は極端に少なくなった。

上田市では厳寒期のろ過池水面は凍結する。しかし浄水場への導抵抗（標準化損失水頭 NHL）が水管は地面下に埋設しているので原水（着水）の水温は凍結する事はなかった（図25）。水温が低い1月から3月のろ過池砂面の藻類は、河川の河床の礫表面で繁殖した藻が流入し蓄積していた（図26）。日射量が増え、水温が高くなり出すと糸状になる珪藻メロシラの繁殖が目立ち、11月まで優先していた。

抵抗は、水温が5度以下になると大きく、生物活性に関係していた。



生物が活躍しだす期間は流入水濁度が多い期間と同じだった。実測の損失と、標準化損失水頭の違いを図示した。



染屋には沈殿池があり、濁りは沈み、凝集剤は必要なさそうだった。

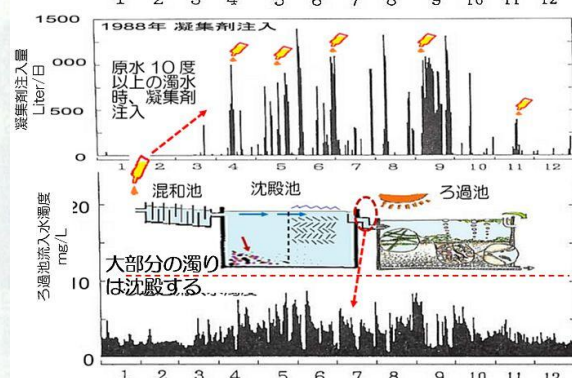


図24 夏は濁りが多い

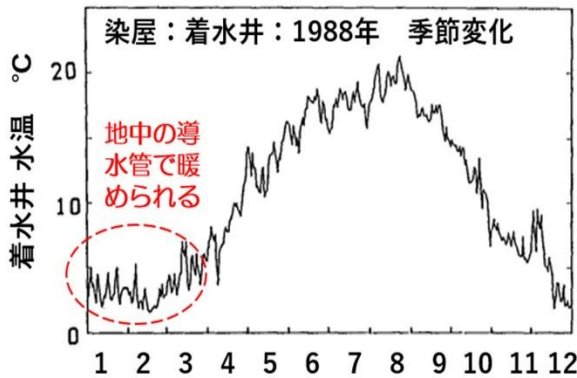


図25 着水水温の季節変化

増えないので、藻の繁殖は役立っていた。藻が増え、微小動物が増え、生物群集による浄化能力が高まると考えた。

ろ過池の表面が凍結しないような地域では、生物群集が嫌がる薬剤や、酸素不足の水の影響などがないなら、一年中、ろ過池での生物群集の活躍が良く、ろ過池は目詰まりしない。ろ過池の維持管理

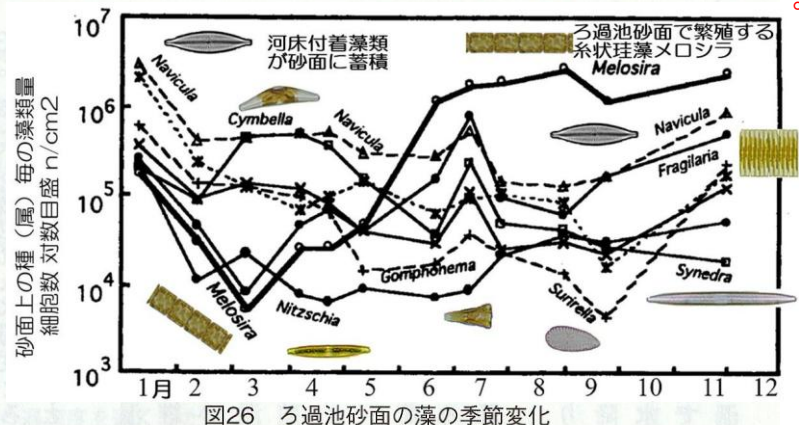


図26 ろ過池砂面の藻の季節変化

ろ過池では、日射量が増え、水温が高くなると、糸状になる珪藻メロシラが目立った。厳寒期は、河床の礫面で繁殖した付着藻類が流入して蓄積していた。



図27 上田市には石舟浄水場もある

上田市には、染屋の上流に、菅平ダム湖が完成し、石舟浄水場が建設された。この二つの浄水場での藻の繁殖状態を比較した。

は楽になる。実際に、ろ過池の損失計などが壊れたままでも、問題は維持管理していた。

9 上流の浄水場の方が濁度は大きいが目詰まりしにくい

上田市には海拔500mの場所に染屋浄水場があり(図27)、神川のろ過池、海拔700mの場所に石舟浄水場(図28)がある。染屋浄水場職員が両浄水場を管理しているが、ろ過池での藻の発達が良く、水面に浮いてくる藻が多く、ろ過池は目詰まりしにくいという。

その後、上田市での藻の発達と比較するために、海拔高度が150mの位置にある高崎市若田浄水場で藻の発達を調べ、藻の発達は気圧(水圧)の違いだと気づいた(4章参照)。

石舟での藻の繁殖が良いのは、下水処理排水の影響かと思った。



図29 藻の繁殖が良い石舟

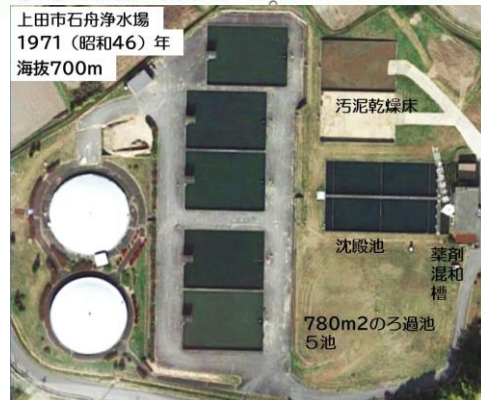


図28 ろ過池が5池ある石舟

石舟での藻の繁殖は、染屋より良かった。

染屋浄水場と石舟浄水場の高度差は200mで、それは水深が20cm程度の浅い事に相当していた。水圧

石舟と染屋の両浄水場の濁度の季節変化を調べた。確かに原水濁度は石舟浄水場の方が降雨などの影響が著しかった(図31)。沈殿後のろ過池流入水濁度は、染屋浄水場と比べ、沈殿しにくかった。石舟浄水場への流入水は菅平高原の火山灰の影響が大きく、沈殿しにくい細かい粒子が多かった。下流の染屋浄水場の流入水は、沈殿しにくい細かい濁りは少なくなっていた。



図30 下水処理排水の影響は

下流処理排水の影響で、栄養塩が豊富という事に加え、海拔高度差が200mもあり、気圧が小さい。水深にして20cm程度の浅いのに相当しているのに気づいた。水深が浅い(気圧が小さい:水圧が小さい)と、溶存酸素飽和度が、小さいので、同じ光合成でも気泡が生じやすかった。

石舟と、染屋の流入水濁度と、沈殿後の濁度を調べた。石舟は菅平高原の細かな火山灰の影響で、濁度が多かった。また細かな濁りなので、沈殿池でも沈みにくかった。でも、下流の染屋では、濁りが少なく、また細かな濁りも少ないので、沈殿池での大度除去効果も大きかった。

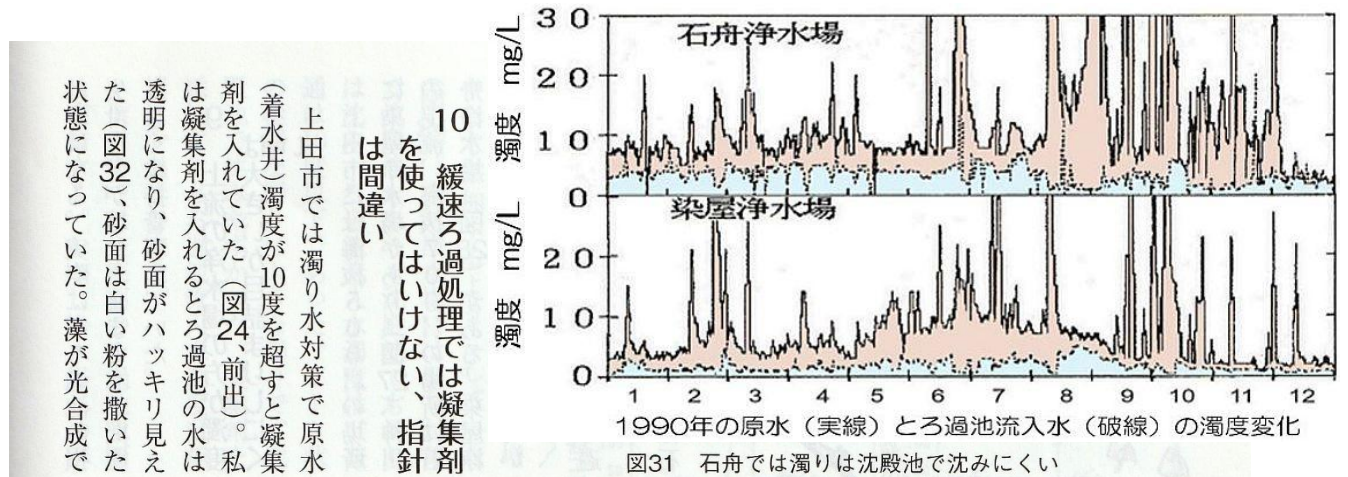


図32 凝集剤は生物に悪い
砂面に日射が当たると、藻が光合成をし、生じた酸素の気泡の浮力で浮きあがる。凝集剤を添加すると、水が透明になるが、砂面は白い粉が撒かれた状態に。生物は活動停止、逃げた。凝集剤添加を中止すると、藻は光合成を再開し、気泡が生じ、剥離浮上した。

ろ過池流入水濁度10度以下にするために、凝集剤を使うとある。まず、微小生物は活動できないと思った。凝集剤添加を中止すると藻は光合成をしだし、剥離浮上しだすのが見られた。私は指針を調べると(図33)「ろ過池流入水濁度は10度以下になるように」とあり「原水濁度が30度以上のときは：凝集沈殿を行い」と書かれてあった。私は「上田市はろ過池流入水濁度と原水濁度」

ろ過池流入水濁度10度以下にするために、凝集剤を使うとある。

水道維持管理指針 p316 日本水道協会 2016年

7.6.2 普通沈殿池 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殿処理水を監視する。沈殿処理水水質は、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、前処理として沈殿池への流入前に凝集剤を注入し、凝集沈殿を行い良好な沈殿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33 凝集剤を使うとの指針

を間違えて「自動的に凝集剤添加を設定する業者が間違えている可能性がある」と助言をしていた。しかし業者やコンサルの方の言う事は素直に従うが、大学の先生の言う事は「現場を知らない素人」として無視され続けてきた。それでも、私が何度も言い続けるので、原水濁度10度でなく11度で入れるように変更した。上田に「おいしい水を広める市民の会」が発足し、高崎市の市長にお願いして2019(令和元)年9月4日に上田市に来てもらい、凝集剤は緩速ろ過処理では必要な



図34 高崎市の市長の説得

いと説得してもらった(図34)。この時、若い斉藤市議(現在の市長)が同席してくれていた。この時の染屋浄水場の越所長(場長)は、民間から転職してきた人で、市民の会の意見にも耳を傾けてくれた。その後、2022(令和4)年に、着水井(原水)の水

指針で濁り対策で凝集剤添加とあるが、それは、生物活性を損なうと高崎市の市長に頼んで、上田市を説得してもらった。この時、斉藤市議が同席してくれた。この市議が、2026年3月29日に市長に当選した。

凝集剤を添加すると、ろ過池の水は透明になるが、砂面は、白い粉が撒かれたようになった。薬剤添加を中止すると、光合成をしたらした。

高崎市の場長の説得後、2022年に、原水をろ過池に直接に入れる実験をしてくれた。
その結果、どうも、凝集剤は必要なかったかもとなった。

薬剤は生物活性を損なっていた。生物が活躍すればおいしい水になり、ろ過閉塞もしにくくなる。

取水し、直接に一つのろ過池(6号池)に入れる実験をしてくれた(図35)。
その結果、どうも目詰まりしないみたいという結果になり、凝集剤添加を、それまで、原水11度(従来は10度)で入れていたのを、原水濁度30度までにした。
濁度変化とろ過抵抗指標NHLの変化図を見ると、上田市でも一切必要なのは明らかであった。
私は実測の損失はろ過抵抗を表さないで、NHLを計算して評

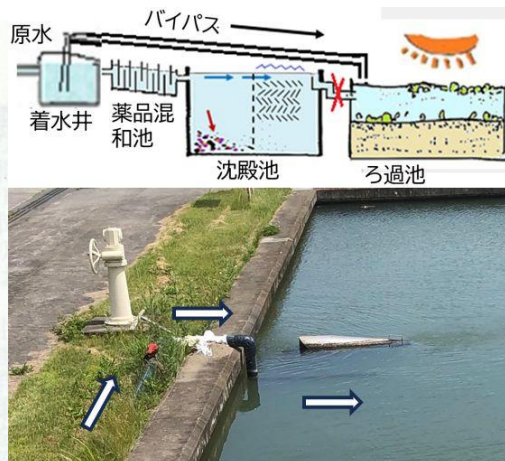


図35 原水をろ過池に直接入れる実験

2022(令和4)年に原水を直接にろ過池に入れる実験をした

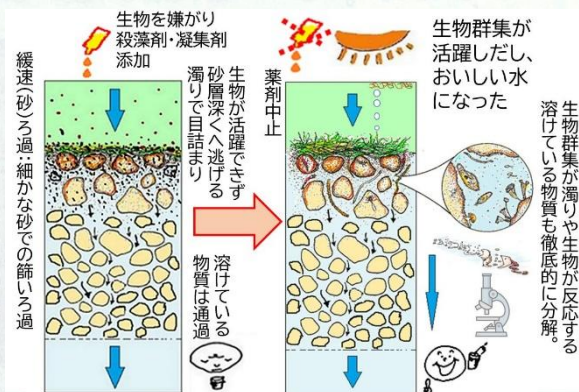


図36 緩速ろ過は生物浄化

価をして助言した。昨年も、1月間のデータをもらって図示して示し解説したが、理解してくれなかった。現在でもNHLを計算しようとしないう状態だった。やはり水道協会の指針で、世界中で使われているろ過抵抗指標のNHLの解説が必要である。
緩速ろ過処理は生物群集による浄化処理で、薬剤の影響が少しでもあると溶けている物質はろ過池を通過してしまう(図36)。



図37 玄関でも河原では藻が大繁殖

11 厳寒期でも水深が浅いと藻が繁殖する
長野県上田市の冬は厳寒でろ過池の砂面では藻が繁殖しなかった。しかし、千曲川の河原で伏流水が湧いている浅瀬では珪藻メロシラの繁殖はすごかった(図37)。そこで、風呂桶を用いるろ過池モデルを浄水場につくったところ、水深が10センチと浅いと珪藻メロシラの繁殖は著しかった(図38)。また斜め壁のろ過池の水面近くの浅い壁面では珪藻メロシラの繁殖は著しかった(図39)。



図39 斜め壁のろ過池で冬でも藻が繁殖



図38 水深が浅いと藻が繁殖

ら厳寒期でも藻が繁殖し微小動物が活躍するのに気づいた。

生物活性を高めるには、水深を浅くすることだった。

戦後、アメリカの薬品処理の急速ろ過が、最新技術で、ろ過効率が良いと宣伝された。

200年前、ロンドンで、緩速ろ過池を完成させた時の、水深は38cmしかなかった。

上田市は、戦後、凝集剤、殺藻剤添加する間違いをした。当時は、それが良いと思った。

「セメント」と書かれているが、水深をもっと浅くするのが良さそうだった。

200年前、ロンドンでシンブトンが緩速ろ過処理実験をした時の水深は38センチしかなかったのを出した。細かな砂での機械的（物理的）な篩いろ過という用語で生物群集の活躍をイメージできなかったのが誤解の元と思っている。そこで私は、緩速ろ過でなく生物浄化法と言い換えようといひだした。

12 戦後、上田市は凝集剤を使いだす間違いをしだした

上田市で凝集剤や殺藻剤を使いだしたのは、戦後、1953（昭和23）年からである（図40）。それまで濁りがない伏流水を取水していたが、河川表流水を取水し、濁り水対策で急速ろ過処理の前処理を導入した。最新の濁り水対策で良いと思った。また急速ろ過では藻臭などが除けず、藻の繁殖は悪いとされ、殺藻剤も添加しだした。細かな砂での機械的篩いろ過で濁りが除けた。流入河川の河床で



図40 河川表流水を取水し急速ろ過薬品処理を導入

しかし、凝集剤や殺藻剤を添加すると、ろ過池で生物群集が活躍できなくなった。緩速ろ過処理は、遅い方が良いと思い、ろ過速度を遅くしていた。しかし、指針（図12、前出）では「4〜5倍でろ過」とあるのに、上田市では緩速ろ過処理は遅い方が良い、また、濁り水対策では凝集剤を使うという考えが、現在まで続いている。山国の河川水は増水し濁っても直ぐにきれいになる。また豪雨などの濁り水対策で沈殿池を設けた。しかし大陸河川の濁りは細かく、

アメリカで凝集剤を使う急速ろ過処理が開発された。急速ろ過では逆洗浄行程が必須であった。この行程で病原菌やクリプト原虫なども通過し問題になった。そこで大陸のブラジルのサンパウロ大で薬品を使わない濁り水対策で上向流粗ろ過が1980（昭和55）年に実験しポルトガル語の修士論文として発表され（図41）。その後1988（昭和63）年にロンドンでの国際会議で発表され、国際的に注目され、この技術は世界中で使われた。そこで大陸のブラジルのサンパウロ大で薬品を使わない濁り水対策で上向流粗ろ過が1980（昭和55）年に実験しポルトガル語の修士論文として発表され（図41）。その後1988（昭和63）年にロンドンでの国際会議で発表され、国際的に注目され、この技術は世界中で使われた。



図41 薬を使わない濁り対策を実験



図42 砂層は汚れていない

13 砂層内部は汚れない、ろ過を続けると砂層内部はだんだんときれいになる

ろ過池を長く続けると、砂面の汚れを除くために、水を抜いて砂面の削り取りをする。水を抜く際、砂面排水をする。その様子を見ると、砂層内部は、汚れていない（図42）。砂層の汚れは砂層の極表面だけで、砂層深くは、汚れていない。ろ過継続を長くすると、微小動物が活躍して深い層の砂まで、だんだんときれいになる。

薬剤を使わない濁り対策で、上向流粗ろ過がブラジルで開発され、世界中に広まりだしている。

砂層上部で生物が活躍すれば、砂層内部は、汚れない。生物が嫌がる事をするから、砂層が汚れ、目詰まりもする。

生物が嫌がる事をするから砂層内部が汚れる目詰まりするので砂層の天地替えが必要になる。

自然界の土壌を考えてみよう。
土壌を除くと内部が汚れる。

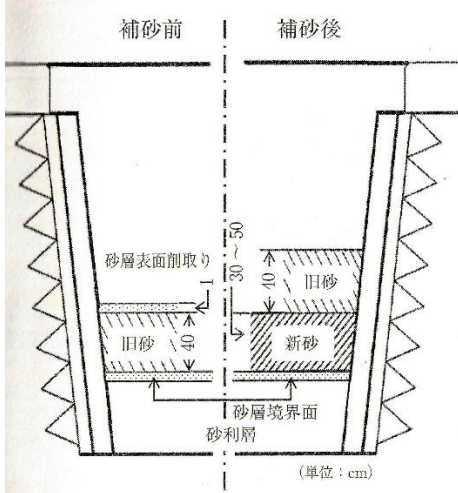


図43 間違いの補砂手順

私はろ過池で流入水中の栄養塩を使つて藻が繁殖するので、ろ過池流入水とろ過後の水の栄養塩（窒素、リン、珪酸など）を測定した。そしたら、ろ過後の水の方がリンや珪酸が増えていた。この結果から、ろ過砂からリンや珪酸が溶けだしていたのに気づいた。

新しい砂だと、砂の表面から鉱物成分が溶出する。古い砂をそのまま使い続けるのが良かった。指針では、補砂をする際、新しい砂を下に挿入し、古い砂を上にする

とあるが、逆である（図43）。

ロンドンのテムズ水道では、砂面の削り取りは、生物群集を除き、生物浄化機能が発揮するのに日数がかかる。砂面に蓄積した汚れなどは、水を抜かないで、吸引水中掃除機みたいので、除く実験をし



図44 吸引水中掃除機の実用試験中

テムズでは、削り取りをしないで、水中吸引掃除機で砂層上部を除く実験をしている。

国の広域化モデルは、災害国に適さない。



図45 2021年のモデル案



図46 2022年、県企業局は緩速ろ過へと研修

14 水道事業を持続可能にするために指針の大改訂が必要

ていると教えてくれた（図44）。

日本の指針は、生物屋が関与していない。大改訂が必要。

人口減少時代、持続可能な水道事業にするにはと厚労省は2021（令和3）年3月に水道基盤強化計画作成のモデル事業案を公表した（図45）。その内容は上田市から長野市までの水道事情を一つの水道企業団にする案だった。その4月に長野県企業局にスマート化推進センターが設置され一規さんが初代所長になり、長野県内の水道事業の現状を見て回った。

山国で、谷合に集落がある長野県は中本が推奨する緩速ろ過が最適と判断した。コロナが流行していた2022年2月にネットで「伝承！緩速ろ過の極意」と言う3時間の実務者研修を行った。1回だけでは伝わらないと思ったように、翌3月にも2回目の研修を行った（図46）。その後、関さんは異動し、定年退職をしてしまった。

私はこのモデル案の数値がおかしいので注意深く見た。コンサルが作成した案を上田長野間の水道事業体は自分らで検証せず、「補助金がつくので良い」と説得してき

た。でも注意深く検討してなかった案で、上田市民から「おかしい」と声が上がリ、モデル案は次から次へと改訂がなされてきた。2026（令和8）年3月末の上

田市長選挙で「現状の水道広域化には反対」と声を上げ斉藤市議が市長に当選した。

自分らの水道事業を持続可能にするために、コンサルに頼らず自分らでまず検証する必要がある。私は大学で教えてきた生物屋の研究技術者である。世界はどうかという視点で学生を教え、研究をしてきた。緩速ろ過という名前が誤解を生んだと思っている。緩速ろ過でなく生物浄化法と名前を変える必要がある。

2021年に長野県企業局にスマート化推進センターが発足し、初代センター長は上田市や、長野県内を見て、長野県のような山国は、上田市を見習って、緩速ろ過が良いと考え、『伝承！緩速ろ過技術の極意』という研修を2回も行った。