

生物屋の緩速ろ過池研究

その11 持続性についてインドネシアで考えた

信州大学名誉教授 中本 信忠

古くから使われているのは、派手でないが持続性がある。省エネシステムだ。でも注目されない。ヨーロッパは古い建物が多い。使い続けている。

1. 古い技術の緩速ろ過は注目されにくい

私は大学で理科教育法の講義を担当していた。この講義では科学技術の発達、その背景について解説していた。根本的な考えや発見は、地道な研究から生まれてきたことを繰り返し強調した。最新の科学技術は産業革命時代以降、工業の発達に伴って急激に発展してきたものである。

緩速ろ過は産業革命時代の英国で200年前に開発され、現在も世界中で使われている。緩速ろ過池の生物現象は、湖沼での生物現象と似ている。しかし緩速ろ過という名前のため日本中、世界中で、生物群集による浄化であることを誤解していることに気づいた。

ろ過池砂層表面の藻や微小動物を、ろ過池の水が張ったままでも定量的に採取できる道具を工夫し研究した。アメリカ水道協会の小道具コンテストがあり、応募したところ採用されアメリカ水道協会の情報誌「Opflow」の1993（平成5）年7月号に Schmutzdecke Sampler Reduces

Filter Bed Damage (ろ過砂を傷めない汚泥採取道具)として掲載された(図1)。しかし緩速ろ過に關して、学会誌などに発表しても古い技術なので見向きもされなかった。



図1 砂層表面採取道具

2. インドネシアでオランダ人の知恵を知る

私は信州大学に就職する前の1974（昭和49）年に、初めてブラジルへ行った。サンパウロ大、サンカルロス連邦立大のダム湖富栄養化防止プロジェクトについて助言を行った。その後、何度もブラジルへ行き、共同研究などに携わってきた。インドネシア科学院

(LIPI : Sciences Indonesian Institute of) 陸水研究所が、1986（昭和61）年1月に創設された。陸水研究所の所長から、日本の学術振興会に研究協力の打診があった。初代所長のノンチー(Anugerah Nonji)さんが1989（昭和64）年4月、桜が咲いている上田に来て、日本との協力について話し合った。まず、現地の状況を把握するために、私は創設したばかりの陸水研究所に1990（平成2）年3月から8月の半年間、JICA（国際協力機構）の専門家として赴いた。研究所はジャカルタから南へ60キロ、サラク山の麓にあるボゴール宮殿（1870年から1942年までオランダ総督の公式の家）に隣接した植物園 (Botanical Garden) 内にあった。研究所は動物学研究施設（1901年に建設）の1階に間借りしていた(図2)。研究所では毎週金曜朝に国旗掲揚とパンチャシラ（1945年制定の憲法前文、建国5原則）の朗読と訓示、それにラジオ体操をした。

この植物園はオランダの東インド会社が1744年に建設した。

オランダの東インド会社が活躍していたのはインドネシア

1990 年 JICA 専門家として創設したばかりの陸水研究センターへ

オランダの東インド会社時代の建物、まだ使われている。



図2 陸水研究所朝礼



図3 ボゴール植物園

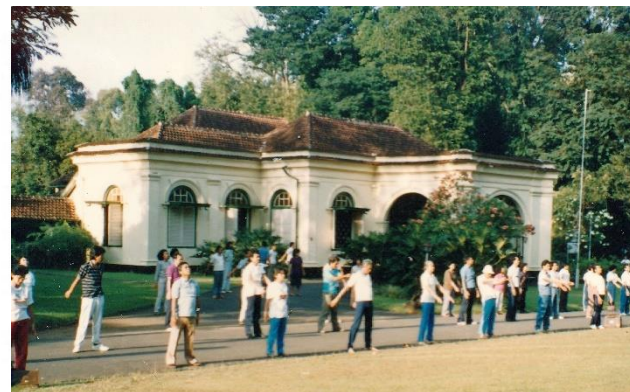


図4 植物園のゲストハウス

あるとして、溜池調査をしていた。研究所の溜池調査に同行した。現地では竹の筏を舟として使うのが普通であった(図5)。

その後、ジャカルタは都市化がさらに進展し、多くの溜池は埋め立てられてしまった。残念だが、オランダ人の知恵が受け継がれていなかった。

インドネシアでは食事は素手で食べるのが普通であった(図6)。レストランのテーブルには、フィンガーボールがあるのを知った。フィンガーボールは食事の前に手を洗うためであった。

1817年にオランダ王国の植物園となった(図3)。当時は世界最大の植物園と言われていた。

この植物園の主な目的は、世界中から集めた有用植物の試験栽培で、隣接する植物標本館(Herbarium Bogoriensis)には世界中の熱帯植物標本が保存されている。植物園は有用植物 Herd を集めるところであった。熱帯植物を研究するには、ここに保存されているタイプ標本(名前を決めた証拠標本)と比べる必要がある。そ

こで現在でも世界各国の研究者の訪問があった。

植物園の研究棟の隣に1914(大正3)年に建設された所長官舎兼事務所があった。私が滞在した当時は、研究者用のゲストハウスとして利用されていた(図4)。このゲストハウスの前では、毎週金曜朝に研究者がラジオ体操をしていた。

陸水研究所では、インドネシア中の湖沼や河川の研究と陸水学の応用としての水産利用の研究も

行っていた。ジャカルタ平野には溜池が多くあった。この溜池はオランダ統治時代、バタビアと呼ばれた時代に建設された。海面下の土地が広いオランダ人の知恵であった。淡水を地下浸透させる目的で、溜池に河川水を導水して貯水するようにした。溜池は魚の養殖などにも利用されていた。当時、工業が発達し人口が増え、溜池の埋め立てが始まっていた。そこで研究所では平野部の地下水が塩水化し、水質が悪くなるのは問題で



図5 溜池調査

ジャカルタ平野の溜池はオランダ統治時代に建設された。地下水の塩水化を防ぐため。

オランダは、海面下の水が塩水化しないように淡水溜池を建設した。

手で食べるのが普通。
フィンガーボールで、手を洗う。



図6 素手で食べる

3. ヤマハ発動機の社会貢献 事業に協力

オートバイや船外機などを生産するヤマハ発動機は、1974(昭和49)年にインドネシアのジャカルタに工場を建設した。インドネシアの駐在員から「水道の水が茶色で困る」という話があり、1980年代に入ると井戸水や水道の水をきれいにする家庭用浄水器を開発し、1991(平成3)年に販売を始めた(図7)。しかし浄水器は高価であり、お金持ちしか買えなかった。インドネシアの住民は、水質が悪いことで苦労をして



図7 ヤマハの浄水器

いた。

私は、緩速ろ過は自然の仕組みの活用であると、いろいろな雑誌などに解説を書いていた。当時のヤマハ発動機の社長は会社の利益の一部を社会貢献に還元する必要があると社員に訓示していた。社長は船外機やボートなども製造している、水に関係する事で社会貢献しても良いと言っていた。当時、インドネシアで浄水器を製造、販売していたのはヤマハ発動機の子会社(株)アイアイシーであった。この会社の商品開発室の八木澄夫さんが1999年頃、研究室

微小生物が活躍すると、濁った水もきれいになる。

を訪ねてきて「浄水器を買えない村人のために何とか良質の水道水ができないか」と打診してきた。インドネシアの水質が悪い井戸水や細かな濁りで濁った河川水や灌漑用水でも緩速ろ過は使えないかとの相談であった。

八木さんらは緩速ろ過なら、ヤマハの社会貢献事業として貢献できると考えた。私は平野部の地下水は酸素不足であることが多く、この水を空気に触れさせ溶けている鉄やマンガンなどを酸化沈殿させる必要性を解説した。また大陸河川や熱帯地域の灌漑用水路の水は、細かい濁りの割合が多く、普通の沈殿池だけでは沈殿しにくいことを解説した。インドネシアの溜池や水田では水草が繁殖し微小動物が増え濁りを捕捉するので濁りが無くなることを説明した(図8)。

この水を緩速砂ろ過すれば、薬を使わなくても病原菌を除去し、良質の水ができると説明した。当時、私が八木さんに渡した緩速ろ過に関する参考資料は、全て英語だったので驚かれた。

地下水が悪くても、工夫すれば



図8 水田では濁りがなくなる

自分らで解決できるという事例も紹介した。兵庫県加西市で、井戸を掘ったが水質が悪いので自宅の駐車場の屋根の上に水路を作り、生物酸化処理を行って、砂ろ過をして自宅用に使っている事例を解説した(図9、11)。

八木さんらは、ジャカルタの工場の敷地内の井戸水は鉄やマンガンが含まれていたのを知っていた。そこで加西市の事例を参考に、水路を作って鉄やマンガン除去する実験を開始した。汲み上げた直後の水は透明だったが、直ぐに褐色の沈殿物が生じた。そこで階段状の長い水路をつくり、酸化沈殿

水中の微小生物が活躍すれば、濁りを集めて、食べて、分解する。

酸素不足の井戸水が茶色になる。階段状の水路をゆっくり流すと、徐々に、透明な水になり、小石も茶色にならなくなる。



図10 長い水路で酸化処理

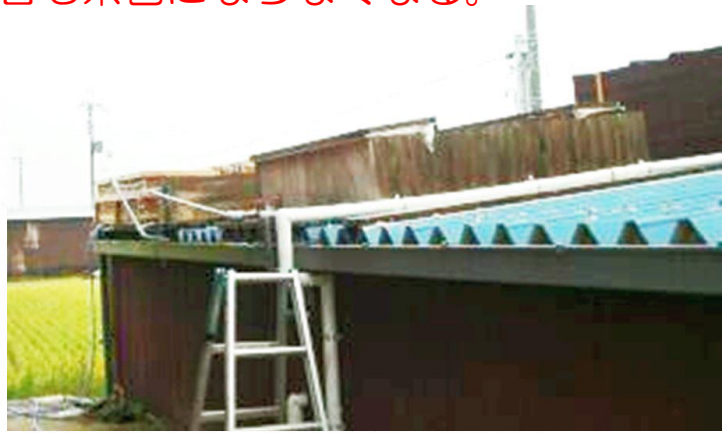


図9 駐車場の屋根に浄化装置

エアレーション用シャワー

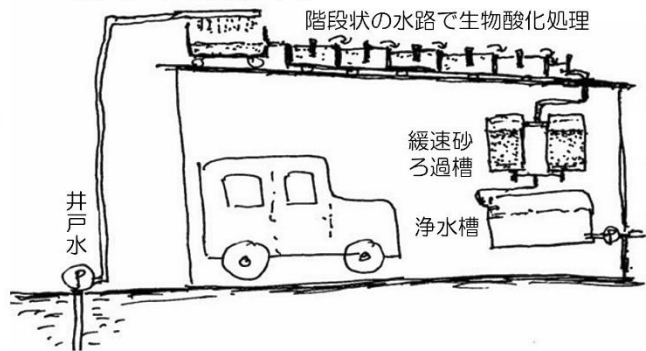


図11 仕上げは駐車場の中

4. パイロットプラントを建設

次に、社会貢献事業として、実際の村で実証実験をしようと考えた。ジャカルタから東60キロのカラワンダ村に土地を借りる交渉をした。村には「仮設の浄化実験プラントを建設し、実験が終わったらプラントを撤去する」と説明し

た。「プラントは灌漑用水路の濁った水を原水とし、薬品を一切使わずに安全な飲み水をつくる浄化施設で、維持管理が楽」と説明した。すると村から「実験が終了したら施設を撤去せず村に寄付してもらいたい」と要望が寄せられた。ヤマハの計画では、村の浄水プラントは取り壊す予定なので、簡易な施設を建設する予定であった。しかし村に寄付をした後に、施設がすぐに壊れてしまったのはヤマハの評判が悪くなると考えた。借り

る予定地は水路に近い狭い土地で軟弱地盤である。そこは村の集会所の前で、隣には村の診療所があった。計画したプラントは2階建て構造で、上に水を大量に貯留するタンクがある。仮設でなく実際のプラントは大きな重量になるので、沈まないように何本ものコンクリート杭を打ち込み、鉄筋コンクリートの堅牢な施設を建設するようにした。その結果、当初の予算より大きな費用がかかったが、2001（平成13）年1月に完成した（図13）。

除去を行うことで、薬品を使わずに透明な水をつくることができた（図12）。

濁った灌漑用水路の水をポンプで揚水し、何段階もの細長い水田のような水路に、リング状の紐を張った。水田の濁った水が、水草などが繁殖すると水が澄むという現象を利用した。繁殖した藻が紐に絡み、水路から流されないようにした（図14）。繁殖した藻の間で微小動物が活躍しやすくなった。濁りが無くなった水は、1階の建物内での砂ろ過装置により、仕上げの浄化を行った（図15）。プラントの浄化能力は1日あたり25トンを考えた。一人1日約310リットルを給水するなら約80人分であった。



図12 地下水を長い水路で酸化処理

ジャカルタ平野の地下水も階段状水路できれいになった。



濁った水路の水も、浅い水路で藻を繁殖させ、微小動物を繁殖させて、濁り除去。最後に、砂ろ過。

5. 村で維持管理するには
村中から村人が浄化プラントまで水汲みに来るのは大変であった。とくに遠方の村人は大変であった。そこで村の中に給水塔を設置し、多くの村人に安全な水を楽に供給



図14 水路で藻を繁殖させる



図13 村の浄水プラント

できるように考えた(図16)。また病原菌も除かれた清澄な水で身体を洗ったり、トイレに使用するのにもったいなかった。そこで私は安全な水を、飲み水と調理だけに使用するように勧め、共同水栓方式を勧めた。そこで村の各家庭に20

新しい前処理方法：緩速ろ過用、濁り水対策

浅い水路で糸状藻類を繁殖：藻に濁り粒子を付着⇒微小動物による捕食

O₂↑ → 気泡 → 好氣的(酸素豊富)な環境
pH↑ → 酸化、水酸化化合物沈殿

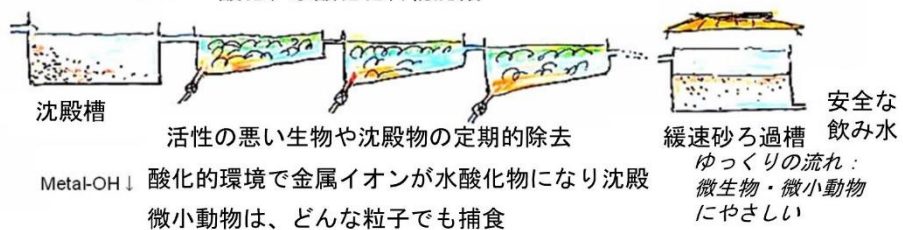


図15 浄化法の仕組み

装置の建設はヤマハが無償で行った。実験が終了した後は村に装置を無償で供与する。この装置の維持には揚水ポンプの電気代、浄化した後の水を塩素殺菌するための薬剤、配管などの維持管理にお金がかかる。蛇口管理人、装置の維持管理人の人件費も必要であった。これらの経費がかかることを、村に丁寧知らせた。村人は集会を開き、村人が経費

のポリタンクを2本ずつ配った。村人が空のタンクを持参して共同水栓に行き、満水にして各家庭に持ち帰ることにした。しかし村人が蛇口を閉め忘れたら、貯水槽の水は直ぐに無くなる。そこで蛇口管理人を決め、開栓時間を決めることにした(図17)。また隣の診療所から要望があり、浄化した水を特別配管により給水するようにした。



図16 給水塔と共同水栓

を捻出する方法を検討した。何晩も話し合いが行われた。市販の500ミリのペットボトル1本の水の値段は、1500ルピアもした。20リルのポリタンクの1本の値段を1000ルピアにして村人に販売して、経費を捻出しようということになった。最初の計画は一人1日310リルを給水することを考えていたが、1家族分のポリタンク2本は40リルであり、水が大量に余る。そこで、この余った水を隣村にも販売することにした(図18)。装置の維持管理は男性が、共同水栓の管理および会計は女性が担当した。共同水栓の開栓の時間を決め、短



図17 開栓時間を決めて給水

共同水栓管理をしないと、浄化した水は直ぐに無くなる。

水を有料にし、共同水栓を女性が管理。会計も女性の方が良かった。

施設能力は十分で、余ったので、隣村へタンクで給水事業。



図18 隣村へ給水車で運ぶ

6. 安全な飲み水で健康村へ
ヤマハの安全な水の供給は、1家族に20リットルのポリタンク2本であった。この水は飲み水と調理しか使わない。洗面や洗濯には使わなかったが、村人の中では下痢や目の病気が無くなったと評判になった。そこでヤマハは、インドネシアのワナサリ地区に新たに浄化装置を建設していたので、同地区の100世帯にヒアリング調査を行った。装置が稼働する前の2

時間での作業になった。余った水を隣村に販売することで、装置の維持管理のための貯金もできた。

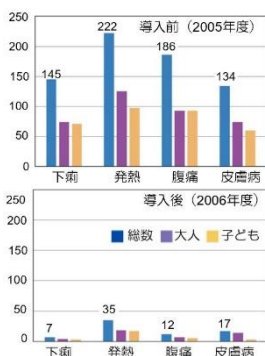


図19 浄化装置で健康村に

ヤマハの浄化装置の水は飲み水と調理しか使わない。でも飲み水と関係ない皮膚病などが無くなり健康村になった。住民の中で、きれいで安全な水を大切にするという意識が広まった。インドネシアでは素手で食事をする習慣があるが、調理だけでなく身体も清潔に、健康に気を付けるということに繋がったと思われる、病気になる



<https://global.yamaha-motor.com/jp/ir/integrated-report/annual2013/sp3.html>
きれいな水のある暮らしを世界に
ヤマハ2013

005年には下痢、発熱、腹痛、皮膚病が多かったが、ヤマハの浄化装置の水を利用するようになったら、村人の中で下痢、発熱、皮膚病などが劇的に改善されたことがわかった(図19)。

健康村になった。世界へ広まるヤマハのクリーンウォーター

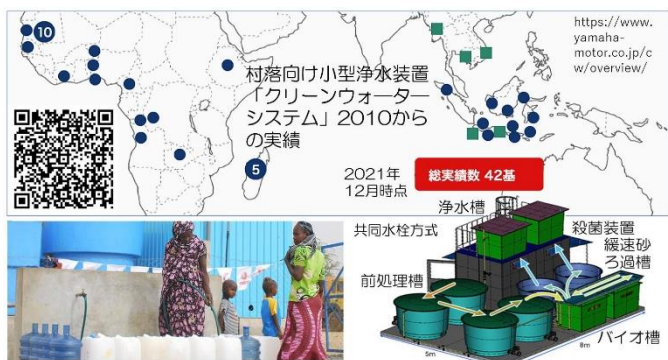


図20 アジア・アフリカに広まる

7. 辰巳琢朗さんの水の旅
テレビ西日本(福岡本社)が「おいしい水」の75分間の特別番組を制作することになった。食通、ワイン通の俳優辰巳琢朗さんの「お

健康村となった。ヤマハではこのカラワンゲ村での浄化装置からさらに改良を重ね、ヤマハクリーンウォーターシステムとして発展し、ヤマハの社会貢献としてアジア・アフリカを中心に建設している(図20)。



図21 辰巳さんを高崎の浄水場に案内

いしい水を訪ねる」番組を考えた。ストーリーはお茶の産地として有名な福岡県八女市星野村に、辰巳さんが訪ねるところから始まった。その後、高崎市剣崎浄水場(図21)、信州大学繊維学部研究室、インドネシアのヤマハの浄水プラントに辰巳さんを案内した(図22)。ナレーターは薬師丸ひろ子さんだった。放映はフジテレビ系で、2005(平成17)年9月10日(土)「不思議の水1000年の旅、辰巳琢郎が訪ねる」として全国に放送された。

辰巳さんが、カラワンゲの浄化装置の水を平気でおいしそうに飲

俳優の辰巳琢朗さんをおいしい水をつくる高崎の浄水場を案内。

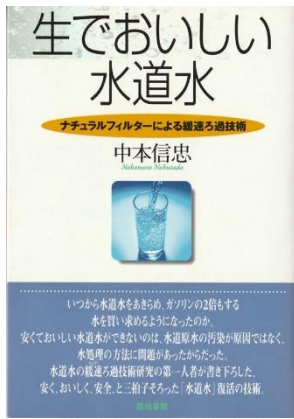


図23 2002年の『生でおいしい水道水』

んでいるのを見た担当ディレクターは「飲んで大丈夫?」と心配そうに声を出した。辰巳さんは『生でおいしい水道水』(2002年、築地書館、図23)を、線を引いて読んでいただいていたので心配せずに安心して飲んでくれた。ディレクターは本を注意深く読んでいなかった。



図22 辰巳さんをインドネシアへ

愛知万博で愛・地球賞代表スピーチ

8. 愛・地球賞を受賞

2005(平成17)年に「愛・地球博(愛知万博)」が開かれた。その「愛・地球賞Global 100 Eco Tech Awards」(持続可能な未来をつくる100の地球環境技術)が選定され、私は9月1日の授賞式で受賞者代表として「藻の繁殖に注目した緩速ろ過技術」と題してスピーチに立った(図24)。「緩速ろ過技術は、単なる砂ろ過による浄化でなく、自然界での生物群集の活躍による浄化系で、藻が繁殖し、動物が増え、食物連鎖が浄化の鍵と解説し、インドネシア、その他海外での事例を紹介した。また万博会場の国連館での「人間と水」の企画でも、ヤマハの浄化装置の普及活動を紹介していただいた(図25)。

9. 持続可能な考えや技術을 大切にする欧州

ロンドンで緩速ろ過が開発された1829年の直後、ウェストミンスター寺院の隣のウェストミンスター宮殿は1834年に焼失した。その後1859年に再建され、



<https://www.youtube.com/watch?v=eb8xpUt0PmM&t=431s>
藻の繁殖に注目した緩速ろ過技術



「愛・地球賞 Global 100 Eco Tech Awards」2005年9月1日



図25 国連館で人間と水展示

英国国会議事堂として現在まで利用されている。この建物は2017年、2021年に補修されたが、補修中も英国国会議事堂として使いつづけた(図26)。2013(平成25)年4月に1264年創設のオックスフォードのバリオールカレッジ(Balliol College, Oxford)

図24 愛・地球賞スピーチ

の教会でハーフの甥が結婚式(図27)を挙げ、1877年に建設された大ホール(The Great Hall, Dining Hall)で披露宴を開いた(図28)。

英国を始め、欧州では数百年間も建物を大切にし、使い続けるのが普通である。英国では家族の所帯・生活に合わせて、住む家を家具付きで転売するのが普通であることを知った。そのために建物を丁寧に手入れし、購入時より高く売



図26 英国国会議事堂は補修工事中でも使い続けていた

オックスフォードのバリオール・カレッジは1263年創設

小和田雅子さんは外務省時代に
このカレッジに留学した。



図28 バリオールカレッジの食堂で披露宴



図27 1263年創設のバリオールカレッジの教会と裏庭

偏西風の力で風車を回す。
持続可能なエネルギー

る。英国では補修して不動産価値を上げるようにしていた。英国人の親類は、ケンブリッジ大において350年前のルームで寝泊まりして勉強したという。欧州では数百年の歴史を肌で感じながら、生活するのが普通であった。欧州では数百年前の建造物が多く、建造物の耐用年数、老朽化という考えは無く、補修して使い続けるという考えが生まれるのは必然であった。オランダにも何回か出かけた。オランダと言えば、運河、海面下の土地と風車のイメージを連想する(図29)。偏西風地帯の風は常にあり、風の力は省エネで永続的に利用できるもので水車の動力として使っていた。

運河の水は海水でなく河川水である。この水が海面下の土地に浸透するので、地下水を常に揚水して排出する。運河の水が海水だと地下水は塩水化する。ジャカルタ平野に溜池を建設したのは、オランダ人の知恵であった。

10 緩速ろ過は大航海時代に 世界に広まった

アメリカでのクリプト事故後の、



図29 オランダの運河と風車

アメリカ水道協会雑誌1997(平成9)年12月号はろ過と小規模水道の特集であった(図30)。緩速ろ過は時代を超越した技術(Still a Timeless Technology Under the New Regs?)と書かれてあった。

ロンドンでシンプソン(James Simpson)が汚れたテムズ河の水から沈殿池と砂ろ過で清澄な水をつくる緩速ろ過処理を完成させたのが1829年であった。緩速ろ過では病原菌が除ける安全

JournalAWWA
Volume 89, Issue 12
December 1997

Filtration

Small Systems

Slow Sand Filtration:
Still a Timeless
Technology Under the
New Regs?
Stephen A. Tanner
Pages: 14-15



図30 アメリカ水道協会雑誌の小規模水道特集

な飲み水ができるかわかり、世界中に広まった。緩速ろ過は細かな砂でゆっくりとろ過すれば良いと考えて、誰もが浄化装置をつくった。北米大陸の冬は厳寒で生物群集の働きが悪かった。そこで薬品処理の急速ろ過が開発され、新しい技術と宣伝されて世界中に広まった。

私は生物群集の働きが浄化の鍵なのに「緩速ろ過」という名前が原因で誤解されていると気づき、1990年頃から解説を始めた。名前を変える必要があると気づき、生物浄化法(Ecological Purification System)と言出し

緩速ろ過は日本で生物浄化法として生まれ変わり、世界へ広まりだした。

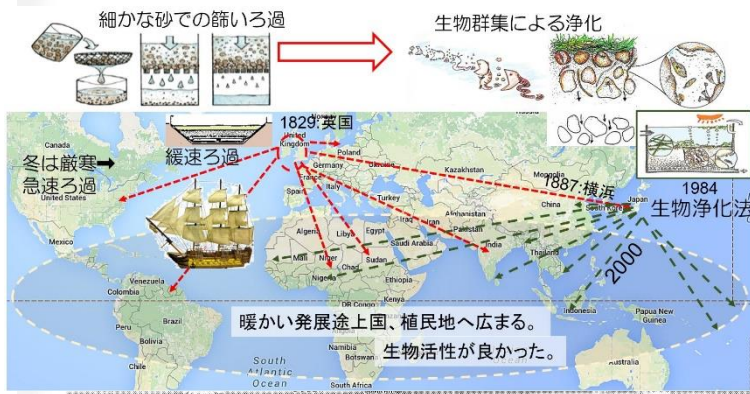


図31 緩速ろ過の広まりと生物浄化法の広まり

た。自然界での生物群集による浄化の仕組みは発展途上国の人々でも理解でき、世界中に生物浄化法の考えが広まりだしている(図31)。生物群集による浄化の仕組みは、寒い地域で上手く機能しても熱帯地域にそのまま適用できるとは限らなかった。生物現象は地域で、季節で異なる。その地域に適した方法はこうしたら良いかと、考えることが基本だった。

コロナの流行前は、染屋浄水場で勉強会

厚労省は上田市の浄水能力に注目

上田市には大正12(1923)年に染屋浄水場が建設され、当時のろ過池が現役で更新することなく稼働し続けている。まさに省エネで持続可能な施設である。「おいしい水を広める市民の会」が発足し、この施設を市民に知ってもらおうと2019(平成31・令和元)年は毎月1回、浄水場見学会を実施した(図32)。また厚労省は日本の水道事業を省エネで健全にするためと検討し長野モデルを発表した(図33)。厚労省は上田市の緩速ろ過の浄化能力には余裕があると判断し染屋浄水場から下流の地域へ自然流下で給水する案であった。

11! 厚労省は上田市の緩速ろ過に注目

欧米の豊かさの源は、「補修して使い続ける」ことではないかと思う。最新技術は直ぐに新しい技術に入れ替わる。古くから使われている技術は、省エネで持続可能な技術である。自然の仕組みを活用した緩速ろ過の仕組みは壊れにくく、省エネで持続可能である。日本でもこのことを再認識すれば、省エネへ貢献することができ。

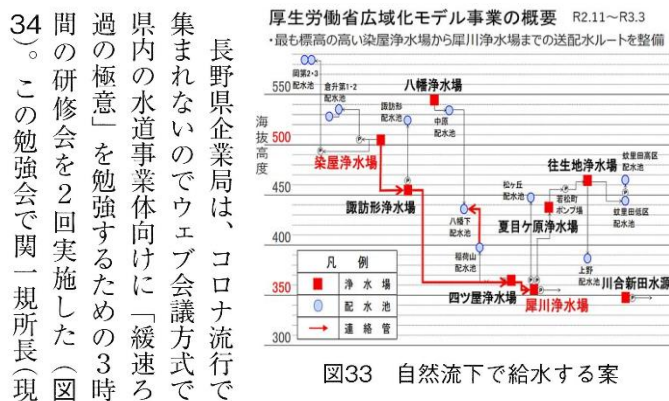


図33 自然流下で給水する案



図32 市民の会の見学会



信州大学繊維学部同窓会
千曲会
〒386-0018
上田市常田3-8-37
Tel: 0268-22-4465
E-mail: schikuma@siren.ocn.ne.jp
1,500円本体+150円税
+250円送料

図35 唯一の緩速ろ過指針



図34 長野県企業局の研修会

水道課長)は『おいしい水のつくり方②』(図35)は唯一の緩速ろ過指針であると勧めてくれた。本年度は実際の浄水場での研修会を計画し7月12日に実施すると案内したが、コロナの再流行で延期になってしまった。

長野県企業局はWebで実務者研修会。YouTubeで配信。現在も見える。



染屋浄水場には780m²のろ過池が13池。
標準ろ過速度の4.8m/dでろ過するなら
4.8m/d x 780m² x 13池=48,672m³/dの能力。
一人1日0.3m³供給なら16万人へ供給可能。