

生物浄化の緩速ろ過の再評価

中本信忠 信州大学繊維学部応用生物科学科

Refocusing on Biological Treatment of Slow Sand Filtration

Nobutada NAKAMOTO

Department of Applied Biology, Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University

Key word: 水道水、緩速ろ過、急速ろ過、生物浄化、
tap water, slow sand filtration, biological purification

1. はじめに

長野県松本市で2004年、薬品処理の急速ろ過処理で水道水をつくる浄水場で毎日排出される汚泥を河川に垂れ流しているのがわかり、大問題になった。急速ろ過処理の浄水施設では、水をつくるための薬品代、機械の維持管理費よりも汚泥処理費用の方がかかっているともいわれている。

信州大学繊維学部がある上田市は、省エネ技術の緩速ろ過処理方法で水道水を供給していた。この水道水が臭くなることがあった。その原因は誤解処理により生じていたことに気づき、国立大学の教官として、誤解を解こうと研究をしだし20年も経過した。この技術は、省エネ技術で、企業利益を生まない技術で、利益追求の企業は敬遠してきた。

しかし、京都議定書が2005年から発効する。この古い技術の方が省エネであるばかりか、名水よりおいしい水をつくる技術である。何度も、いろいろなところで発表してきた。無視されやすい良い技術は、繰り返し知らせる必要がある。そこで、再度、生物処理の緩速ろ過処理の素晴らしさについて解説させてもらう。

2. 水道水より天然の清水を信頼している

長野県は、天然の清水が身近にあり、塩素臭い水道水を嫌って、この清水を汲みに消費者がでかけてゆく。スーパーには天然の清水を詰めたペットボトルが大量に売られている。それは、水道水を皆が信用していないからである。これらの清水は、塩素消毒をしていない水である。この水を長期間保存しても水の味は変わらないし、腐らない。山の清水の値段は無料である。

1年生向けの授業の中で、時間をつくって、松本市内で湧き出ている源智の井戸を飲みに行きなさいと毎年、講義している。学生が確かに水道水よりもおいしいし、人が続々と汲みに来るので驚いたと言ってくる。

また、生水を飲んだのは初めてともいう。でも、昔は、生水を普通に飲んでいて。

3. 塩素臭い水道水が問題

水道水を安全にするために入れる塩素は、台所で使うブリーチと同じ成分。塩素で殺菌した水が安全な水と言われているが、金魚が死ぬ水。人間は大きな動物で鈍感。急生毒でなく、慢性毒に晒されているのではない。

水道水に塩素を入れたしたのは、戦後のことである。進駐軍の強力な指導で日本中の水道水に塩素注入を義務づけられた。この基準は、米軍の野戦での基準である。日本の水道水は、戦後の野戦での処置をまだ守っているのが問題である。欧州では、塩素は発ガン物質をつくる基という考えが浸透し、塩素消毒をしない浄水場が多くなってきている。

4. 欠陥処理の急速ろ過処理

上田市には長野県企業局、県営上田水道管理所(長野県諏訪形浄水場)がある(図1)。東京オリンピックの年、昭和39(1964)年に完成した。

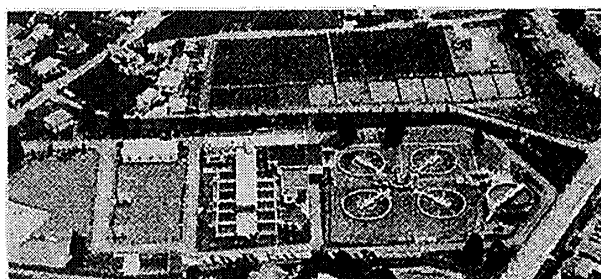


図1. 急速ろ過処理の諏訪形浄水場、写真の上部の水田みたいなのは、汚泥の天日乾燥床で、ここで濃縮した汚泥が産業廃棄物で処理費用が莫大にかかる。

パンフレットによると1日48,000トン、給水人口

61,700 人である。しかし、不味い水、臭い水で常に問題になっている。臭い水問題がいつ生ずるか予想ができないので、いつでも活性炭を注入できる施設をつけた。また、最近では、取水口から 1 キロほど上流に丸子町の下水処理水が流入している。集団下痢を起こさせるクリプト原虫が下水に含まれ、急速ろ過処理では除けないのでパニック状態である。

急速ろ過の仕組みを図 2 に示したように、薬で処理する最新技術であるが、問題が多い。

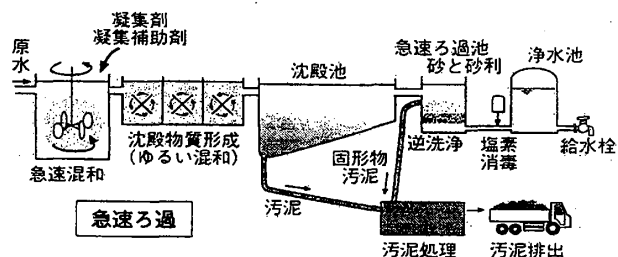


図 2 急速ろ過処理の概念図。原水に薬を添加し、攪拌し、フロックを形成させて、沈殿させる。その上澄みを、早い速度でろ過をする。汚泥（産業廃棄物）が大量にでる。この処分費用が嵩み問題になっている。また急速ろ過池から細菌が漏れるので、最後に塩素で殺菌しないとイケない。薬品で反応したものが除けるが、反応しない臭いや微小動物などがろ過地を通過してしまう欠点がある。未完成の開発途中の技術である。

毎日大量にでる産業廃棄物の処理費用が飲み水をつくる費用より高い場合がある。松本市の急速ろ過処理の浄水場では、建設した時から汚泥垂れ流していたことが 2004 年にわかり、大問題になった。問題点を整理してみた。①細菌が漏れるので最後に塩素で殺菌。②臭いを除けないので、活性炭処理。③必須の塩素で発ガン物質生成。④集団下痢を起こすクリプト原虫が通過。⑤高度な機械が必須、更新が頻繁。機械は故障する。⑥産業廃棄物処理が大問題。次から次へと技術開発するので、転勤が多い公務員では維持管理ができないので、専門家に頼る。専門家の言いなりになる仕組みがあった。急速ろ過処理は完全な欠陥処理であったのが明確になった。この処理の導入は間違えていた。

4. 上田市は大正 12 年から緩速ろ過

日本で最初に英国方式といわれる緩速ろ過処理導入したのは横浜市である。上田市は、明治時代に導入した横浜水道を真似て緩速ろ過処理を採用したのは大正 12 年である。

当時は、千曲川の伏流水（泉町）を取水し、染屋台にポンプで揚水し、緩速ろ過池で浄化処理をしていた。当時の図面を見ると（図 3）、ろ過地と配水池しかない。機械設備など必要なかった。ろ過閉塞もせず、維持管理は楽であったと想像される。

河原に埋設した集水管で伏流水を取水していたので、濁りがなく、砂ろ過をするだけで、安全でおいしい水道水ができた。

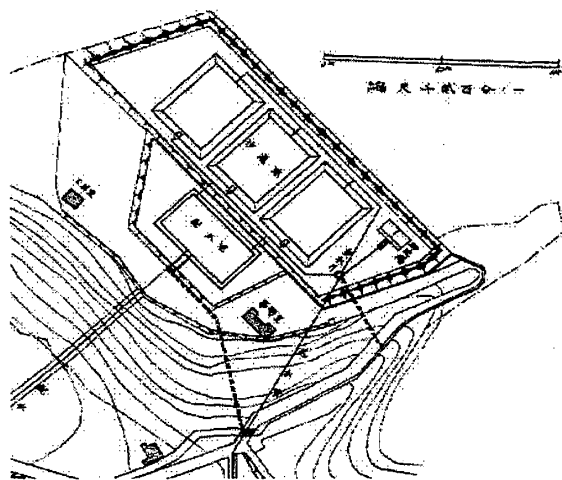


図 3 大正 12 年に完成した上田市染屋浄水場。ろ過地と配水池しかない。自然の仕組みを利用した施設は単純であった。

その後、河川表流水を取水するように変更した。戦後になり、アメリカ方式の急速ろ過処理を真似、凝集剤を使用して濁りを除去しだして、維持管理が大変になった。

さらに、千曲川の支流の神川から取水するようにし、その上流に菅平ダム湖が完成してから、水道水が臭くなった。しかし、20 年前に筆者が調査をしだした頃は既に、臭い水問題はなくなっていた。

調査を始めた当時の浄水場には施設が拡張し、780m²のろ過地が 13 池あった（図 4）。河川表流水を取水しているので、流入水の濁り対策に凝集剤を使っていた。この処置は、日本の設計指針、維持管理指針では標準的な処理であった。



図 4 上田市のパンフによると 13 のろ過池で 1 日に、55,700 トンとある。県営水道より多くの水道水ができる。一人 1 日 0.3 トンの水道需要とすると、18 万人以上に給水可能。さらに、真田町に上田市水道局の石舟浄水場（5 つのろ過池）があるので更に能力が大きい。

5. 緩速ろ過処理は生物が活躍する

生物処理の浄水場にはろ過地以外の施設はほとんどない。しかも自然と繁殖する生物が水質を浄化している。筆者が調査を開始したときのろ過地の水面には繁殖した藻が汚らしく浮いていた。外観が悪かった（図

5). 藻が流入してくる栄養塩と日射で光合成をし、繁殖する。光合成により生産された酸素の気泡の浮力で水面に浮き上がっていた。繁殖する藻は動物の餌になる。動物は、濁りを捕捉し、病原菌も食べてしまう仕組みがあった(図6,7)。

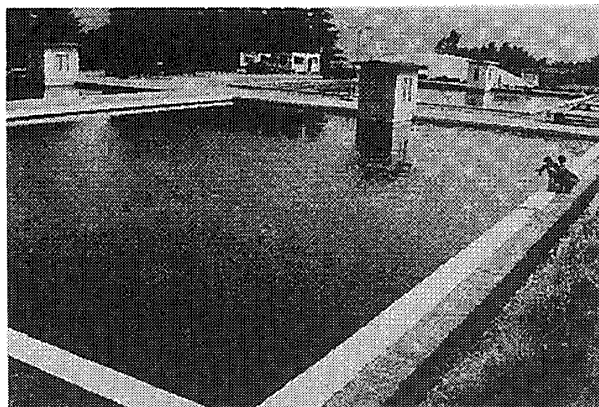


図 5. このろ過池(780m²)一つで1万人以上の水道水ができる。大変に効率が良い。

藻は酸素と動物の餌を供給し、動物は口に入る濁りを捕捉にし、何でも食べた。あらゆる微小動物が繁殖し、活躍していた。微小動物は、餌がないところにはいない。砂の上の方だけ、砂の深いところには餌がないからいない。微小動物は何でも捕まえて口の中に入れる。消化できないものは、糞として排出する。糞の中は酸素不足で、発酵し、分解が進む。普通では、分解できないような物質まで分解する。生物がつくったものは生物により分解できる。だから臭い物質もなくなる仕組みがあった。

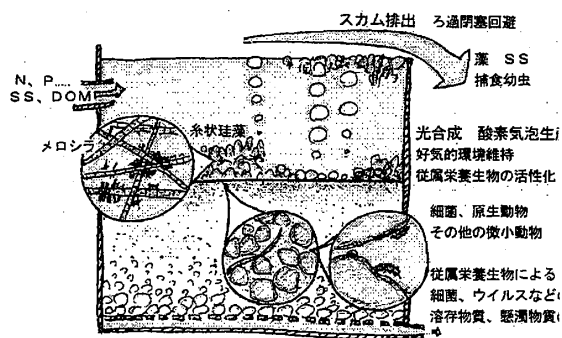


図 6. 緩速ろ過池の砂層表面に繁殖する藻と砂層上部で生息する動物の役割。

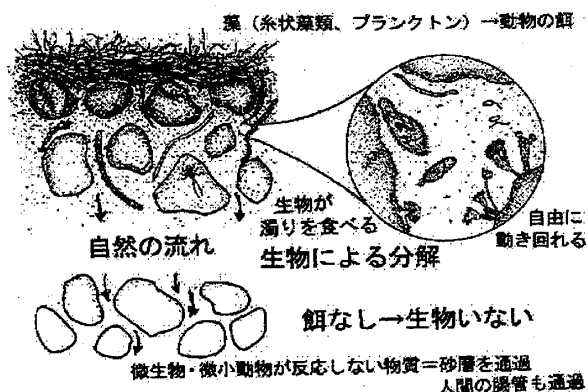


図 7. 砂層上部で活躍する藻と動物。

水田や畑に散布した農薬が流出しにくいのは、土壤中で微小生物や微生物が活躍して分解するからである。ゴルフ場などに散布した農薬が流出するのは、生物がほとんどいないからである。

6. 菅平ダム湖が完成し上田市で臭い水

臭い水道水騒ぎの時、ろ過池で繁殖する藻が悪いと誤解し、ろ過池に塩素や、硫酸銅を添加し、殺藻処理をしていた。塩素で発ガン物質ができることがわかり、ろ過池に塩素を添加するのを中止したら、水道水はおいしくなった。

生物が活躍しだし、臭い物質を除去できるようになったことが、筆者が当時のデータなどを調べわかった。

全国各地の浄水場を見て回った結果、上田市で行われていた、間違い処理は、全国各地で行われていることがわかった。生物処理には前処理に薬品処理をしては決していけないことであった。しかし、日本の設計指針や維持管理指針では、濁り対策に標準処理として薬をつかうことを勧めていた。それは、急速ろ過処理での濁り対策の処理であり、生物処理では絶対にしてはいけない処置であることが高崎市の調査でわかった。

一方、急速ろ過処理では、臭い物質を分解することはできない。上田市にある長野県諏訪形浄水場では、臭い物質を分解できず、水道水事故が多発している。その対策で、活性炭を注入し臭いを吸着させる必要があり、常時活性炭を注入する装置をつけた(図8)。

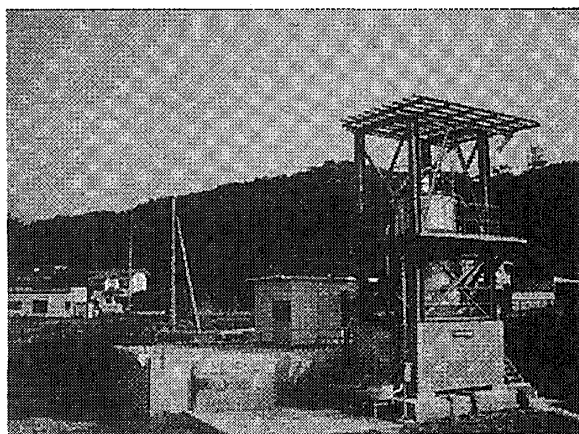


図 8. 長野県営諏訪形浄水場に臭い対策につけた活性炭注入装置。

しかし、緩速ろ過処理では生物群集が活躍し臭い物質を分解するので、このような装置は必要ない。

生物が分解しにくい灯油流出などでも、ゆっくりの生物処理なら、ある程度は、対処できる。土に灯油が漏れてもやがて分解するのと同じ原理である。

7. 緩速ろ過の名前が誤解の原因

スコットランドで繊維を脱色していたギブが1804年に河原に湧き出る清水を人工的につくり、その水を市内中に売り歩いたのが公共水道の始まりと言われていた。その後、コレラが流行したとき、この処理で水を給水している地域では、水系伝染病患者がでないこ

とが判明した。ゆっくりの砂ろ過で病原菌が除けることがわかった。安全な水は、ゆっくりと砂ろ過をすれば良いとわかり緩速（砂）ろ過 slow sand filter という名前がついた。

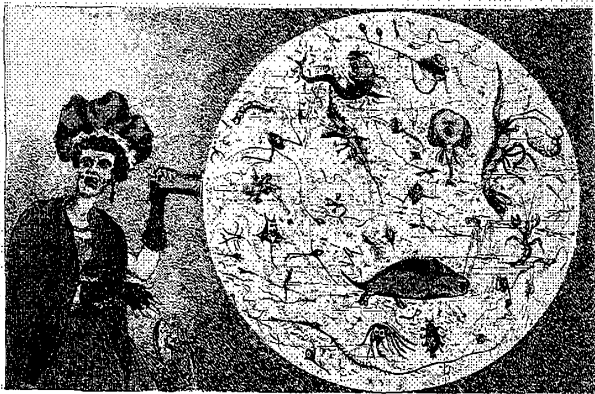


図 9. 緩速ろ過処理を採用した当時のテムズ川の水はモンスタースープと呼ばれていた。

ロンドンで緩速ろ過処理が採用されたときのテムズ川の水は、水質汚濁がひどく、怪物スープと呼ばれるほどだった。こんな水でも安全でおいしい水道水ができていた（図 9）。それは、ろ過池で活躍する動物が病原菌を食べてしまうからであった（図 10）。

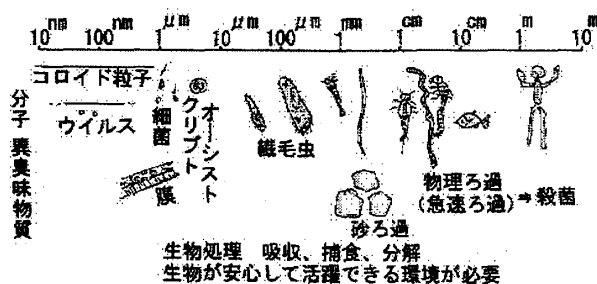


図 10. 動物の大きさと餌の大きさ

何故、緩速ろ過池で動物が活躍すると細菌が除去される仕組みは、動物が口にいれる濁り物の大きさを考えると理解できる。人間が食べるものは、身体の大きさの 100 分の 1 から 1000 分の 1、魚や動物も同じ。自分の身体の大きさより 1 桁や 2 桁も小さなものを口に入れる。繊毛虫といわれる原生動物が食べる粒子の大きさが細菌やウイルスである。ゆっくりろ過とは、小さな粒子を食べる動物が流されない速度のことであった。

ゆっくりろ過とは、あらゆる生物が活躍できるという意味であった。物理ろ過ではなく、生物によるろ過であった。溶けている物質は細菌が分解し、それを微小動物が分解するという食物連鎖が必要であった。

動物は鉍物質の濁りだけなら餌にならない。餌として有機物が必要で、下水や家庭廃水で汚れた水でも大丈夫なのが生物浄化法。

8. かき混ぜれば、濁りが通過する

アメリカ方式の急速ろ過処理は、薬で濁りに反応するものだけは除けたが、反応しないものは通過する。

薬を添加するので、急速ろ過池の砂層が濁りで直ぐにつまるので、急速ろ過池を逆に水を流して洗浄を繰り返す。その時に、ろ過池から生物などが漏れてしまう（図 11）。

漏れてくる病原菌を最後に塩素で殺菌して安全な飲み水にした。しかし、クリプト原虫は塩素で殺すことはできなかった。休眠卵みたいな玉子状態では、塩素で殺菌できない。

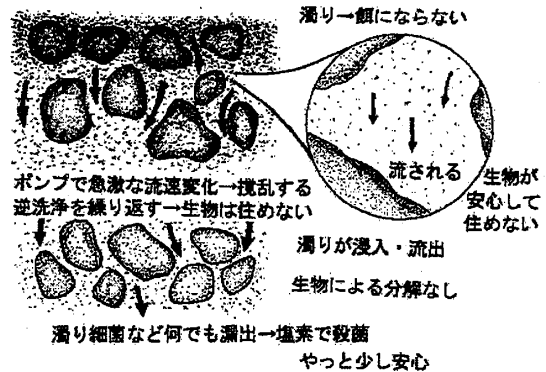


図 11. 急速ろ過処理では、急速ろ過池は頻繁にかき回され、生物は生息できない。濁りや病原菌が漏れるので、ろ過水を塩素で殺菌しないとイケない。

9. ろ過池で繁殖する藻の役割

栄養が豊富なるろ過池では、藻が繁殖する。河原の水たまりに繁茂する珪藻と同じである。糸状の珪藻を網で簡単に捕集できる。それは、魚介類の飼料として最高。肥料としてはもったいない。廃棄物でなく売れる有価物である。薬を使わない浄水場であるので安心である。産業になる。酸素が豊富である環境、藻を取り除けば、ろ過水は、栄養が少ない水、つまり河川上流の伏流水になる。また、重金属なども除ける仕組みがある。これらは下記のようにまとめることができる。

1. 光合成による酸素生産により酸素豊富な環境にする。それには、盛んに藻が繁殖できるような環境を維持することである。
2. 藻が増えることにより栄養塩削減になる。貧栄養化現象が生じる。
3. 従属栄養生物（微生物、微小動物）への餌供給になる。動物が活躍すると濁り対策になる。
4. 光合成により高酸素濃度、溶存炭酸が減少すると pH が高くなる。重金属イオンが水酸化物になり、沈殿する。生物による鉍物化現象が生ずる。

10. ビールがおいしい水をつくった

上田市で藻の役割に注目して研究を開始した。その後日本各地、世界各地を調べてまわった。生物処理には薬が一番の苦手であった。そのことを理解したのは群馬県高崎市の浄水場であった。高崎には明治 43（1910）年から剣崎浄水場（図 12）がある。この水をビールの醸造に使用しようとした麒麟麦酒(株)が、高崎市にお願いし隣に若田浄水場（図 13）をつくった。剣崎浄水場は、日本に急速ろ過処理が導入される前に完成した浄水場である。河川の表流水を取水し、沈殿池で

濁りを沈め、上澄み水を、ゆっくり砂ろ過をした。自然の仕組みを再現しただけである。明治から、現在まで現役でおいしい水を供給し続けている。

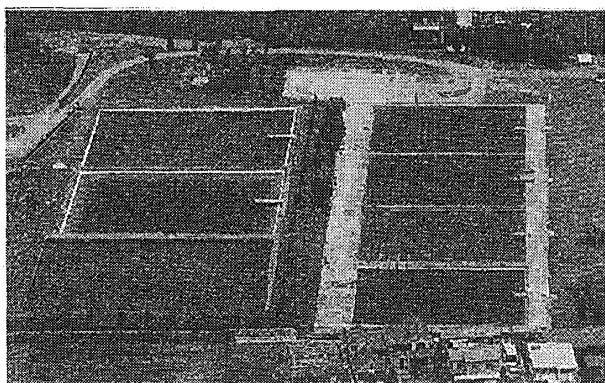


図 12. 沈殿池とろ過池しかない剣崎浄水場

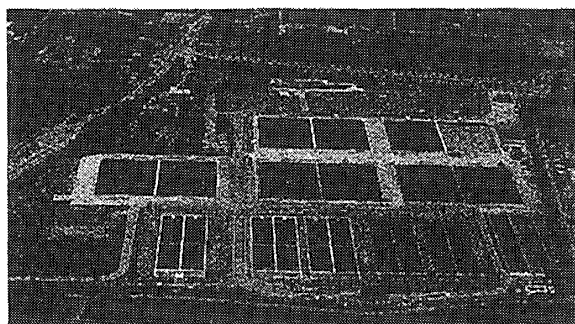


図 13. 若田浄水場、濁り水対策として凝集剤を注入する施設をつけた緩速ろ過処理の浄水場を建設したが、凝集剤を使うと水質が悪くなり、ろ過閉塞もしやすかったことがわかった浄水場。

若田浄水場でつくられる水道水の大部分は麒麟麦酒の工場へ供給していた。若田浄水場で濁り水対策に少しでも凝集剤を使用すると、工場から「この水道水の味が悪く、醸造に使えない」と、苦情の電話がきた。供給した水は捨てられてしまった。でも、水道水基準は満たしていた。ビールの味は、原水の味により左右される。薬を少しでも使うとビールの醸造に使えなかった。そこで、一切薬を使わず、自然の生物群集にまかせ、自然の清水と同じ状態にすることが一番良いことであった。

基準や現在の分析技術で判断した水質では、麒麟麦酒の工場は満足しなかった。高崎市水道局が「おいしい水」を供給できたのは、工場から苦情の電話があり、その苦情が来ないようにするには、どうしたら良いかを自分らで工夫した結果であった。つまり、日本水道協会の設計指針、維持管理指針を信用せず、自分らで判断し、工夫した結果であった。

1.1. 自分らで簡単に浄水施設ができる

日本は山国、溪流に穴あきパイプで、濁りがほとんどない伏流水を取水し、粗ろ過と砂ろ過で簡単に水道施設をつくることのできる。素人細工でもできる。滋賀県琵琶湖北湖にある別荘団地の水道組合は、自分らで水道施設をつくっていた。この施設（図 14）は給水

人口 100 人以下で、最後に塩素を注入していない。水道法で塩素添加を義務つけられているのは水道（給水人口 5001 人以上）および簡易水道（101 人以上 5000 人未満）である。

この浄水施設には水道法が適用されない自己責任の飲料水供給事業の水道施設である。自分らで管理し、自分らで責任を持つ必要がある。長野県は山間に集落がある。このような施設をつくり、自分らで管理をすれば水道代は安く、おいしい水道水が難く得られる。



図 14. 溪流に穴あきパイプを埋設し、濁りが少ない水を取水する。砂利での濁りを粗ろ過し、砂ろ過をする。この二つのろ過槽には、フェルト状の不織布を砂利や砂の上に敷設している。ろ過池へ流入する濁りを除くに維持管理が楽である。

筆者が緩速ろ過処理の素晴らしさを水関連雑誌に多数発表し、日本各地で講演したりしてきた。ホームページ <http://water.shinshu-u.ac.jp> でも親切に公開してきた。その結果、日本各地、世界各地でも緩速ろ過処理の見直しの動きが出始めている。

広島県三原市は給水人口、12 万であるが、それまで、急速ろ過処理と緩速ろ過処理の浄水施設があったが、すべてを緩速ろ過処理の浄水施設にした。藻の役割と生物の役割に注目し、ろ過地を改良した浄水場は、名古屋市、岡崎市、高松市、高崎市、宮古島などがある。また、インドネシアに工場があったヤマハ発動機(株)は前処理に新しい考えを取り入れた緩速ろ過による浄水施設が完成し、住民が維持管理をしている。スリランカにも筆者が助言し、JICA として緩速ろ過施設ができた。バングラデッシュには砒素対策で安全な飲み水を供給できる緩速ろ過処理で理想的な施設が、2004 年 7 月に完成した。また、アフリカのナイジェリアからは、問い合わせがあり、資料などを送った。来日してもらい指導した。2004 年夏には浄水施設ができた。

現在、国際連合大学のプロジェクトとして、持続可能なプロジェクトとして緩速ろ過処理を取り上げようと動きだした。真に省エネ技術で、真に良い技術は何かを考える必要がある。

参考：

中本信忠「生でおいしい水道水」築地書館