

## ●特集● 水と現代社会—その課題と解決に向けて

# 世界の水インフラの新しい動き —日本発の住民のための浄化技術の広まり



中本信忠

日本では凝集剤を使う「急速ろ過」による浄水処理が主流である。しかし、この処理には発がん物質生成、クリプト原虫の問題があり、欧米では「緩速ろ過」技術が再認識されてきた。この動きは業界主導の日本では伝わりにくかった。しかし日本で緩速ろ過技術を生物浄化法として再評価し、JICAが日本発の技術として認めた。この浄化法は発展途上国での水インフラ整備に役立つ技術として世界に広まりました。

## はじめに

戦前の日本の都市水道は、英國式の緩速ろ過処理による供給が主流であったが、戦後の高度成長とともに、薬品処理の急速ろ過処理が多くなった。しかし、水源水質が悪くなり、臭い問題、濁り水対策などで苦慮していた。そこで、凝集剤の改良、臭い除去のための高度処理、膜処理技術の研究がなされ、技術面では世界と競争できるようになった。

日本はこれらの技術による水インフラ整備で海外へも売り込もうとしてきた。しかしながら、発展途上国で薬品処理による浄水場を整備しても維持できず、困っているのが現状である。

近年の日本の海外水道への技術協力は、都市水道での管路の漏水対策や水道経営に関する協力が多く、発展途上国に適した浄化技術の支援をしているとは言えない。

筆者は東京都立大学理学部生物学科で藻の

## ●中本信忠（なかもと・のぶただ）●

1942年生まれ。東京都立大学大学院理学研究科退学。理学博士。信州大名誉教授。所属：NPO地域水道支援センター。専門：応用生態学。著書：『生でおいしい水道水』（筑地書館、2002）ほか。

生態を研究した。信州大学繊維学部に就職し、1983年から上田市の緩速ろ過池研究を行った。浄化における藻の役割が誤解されているとわかり、その誤解を解こうと研究を続けてきた。近年は、JICA（国際協力機構）の国際研修で発展途上国での水道技術者に緩速ろ過技術を教えている。

欧米で緩速ろ過の見直しの動きがあっても、日本では最新の水道技術を研究する専門家が水道界をリードし、世界の動きが伝わりにくかった。

本文では、「日本はどうして世界の情報が伝わりにくいのか」、また「世界の水インフラに関する日本の寄与」について考えたい。

## 1 日本で「水道」とは大規模水道

私たちは何気なく「水道」と言っているが、水道法では給水人口5001人以上を「水道」、給水人口が5000人以下101人以上を「簡易水道」と区別している。また「給水人口が100人以下を除く」とある。つまり、テレビ、ラジオ、新聞報道、教科書で一般に登場する「水道」は、大規模水道を意味している。大都会は薬品処理の急速ろ過が主流で、その浄化方法が日本の常識になっている。

キーワード：飲み水（drinking water）、水浄化技術（water purification technology）、緩速ろ過（slow sand filter）

厚生労働省や日本水道協会が公表している日本の水道統計も、給水人口 5001 人以上の統計である。平成 19 (2007) 年度水道統計では、浄化方法の種類別給水量は下記である。

- ・消毒のみ：18.5%・緩速ろ過：3.6%
- ・急速ろ過：77.2%・膜処理：0.7%

確かに急速ろ過の割合が多いが、水源が湧水や井戸水で無処理の消毒のみは 18.5 % もあり、緩速ろ過は 3.6 % である。これらの浄化処理に加え、さらにオゾン、活性炭、生物活性炭処理などの高度処理をしている給水量は全体の 26.3% もある。

長野県の平成 23 (2011) 年度水道統計（給水人口 5,001 人以上）を調べてみた。

- ・消毒のみ：59.4%・緩速ろ過：10.3%
- ・急速ろ過：29.7%・膜処理：0.6%

消毒のみの割合が 6 割で、緩速ろ過の割合は 1 割もある。薬品処理の急速ろ過の割合は 3 割しかない。日本では薬品処理に依らない水を飲んでいる割合が意外に多い。

浄水場の数は、水道技術センターの平成 21 (2009) 年度水道統計（給水人口 5001 人以上）では、急速ろ過による浄水場数が 1776 に対し、緩速ろ過による浄水場数は 541 もある。簡易水道では 2402 (平成 10 年度) もある。給水人口が 100 人以下の浄水場数は、簡易水道の数倍あるといわれている。

このように、小人口用も含めれば緩速ろ過による浄水場数は現在でも一番多い。それにもかかわらず、筆者が緩速ろ過処理を研究し始めた当時、大学で緩速ろ過処理を研究していたのは筆者一人であった。

発展途上国を考えると、長野県よりも人口過疎の国は多数ある。相手国の立場になって“持続可能な水インフラ”を考える必要があると思っている。

## 2 緩速ろ過と急速ろ過

水の浄化方法には、英国式の緩速ろ過とア

メリカ式の急速ろ過がある。緩速ろ過は英国ロンドンで 1829 年に完成した。河原で湧き出る水と同等に清浄な水を人工的に作り出す。細かな砂（粒径 0.30 ~ 0.45 mm）の槽に、上から下へ、1 日に約 4 ~ 5 m のゆっくりした速度で原水をろ過させる方法である。病原菌も除け、水質が良いが、ろ過速度が遅いので多量の水を得るために広い面積が必要といわれている。ロンドン市の水道水は現在も緩速ろ過で 100% 供給されている。

一方、急速ろ過はアメリカで開発され、約 100 年前にほぼ完成した。取水した水の中の濁りを除くために、凝集剤を添加し沈殿させて、少し大きな砂（粒径 0.45 ~ 0.70 mm）でろ過速度 1 日に約 120 m でろ過させる。ろ過速度が速いので急速ろ過 (Rapid Sand Filter) と呼ばれている。しかし細菌除去が不完全なので、最後に殺菌処理が必須である。

緩速ろ過 (Slow Sand Filter) の浄化機能は、細かな砂での機械的なろ過により細菌まで除けると考えられていた。水源水質が富栄養化すると、ろ過池で藻が大量に繁殖する。日中は光合成で酸素を生産するが、夜間は呼吸で酸素を消費する。藻の量が多くてろ過速度が遅いと、夜明けに砂層内の溶存酸素濃度が極端に少なくなり、マンガン溶出問題などが生じた。そのため、“緩速ろ過は富栄養化した原水は無理で、浄化能力に限界がある”といわれていた。

一方、急速ろ過は凝集沈殿が鍵であり、ろ過そのものは最後の仕上げであり、「凝集沈殿ろ過処理」と呼ぶべきである。沈殿後の上澄みを砂でろ過をするが、すぐに目詰まりする。そこで、目詰まりした砂ろ過槽に対しては、ろ過水を逆に下から上へ流し目詰まり物質を洗い流す処理を施す。この工程があるので、濁りや細菌などが処理行程を通過してしまう。そこで、最後に塩素剤で殺菌をすることが必須になる。

歐米では、濁り水で緩速ろ過池が目詰まりするのを防ぐために、沈殿池や砂利ろ過で人工の伏流水にする対策がなされていた。しかし日本では、既述のように濁り水対策として凝集剤を使用する急速ろ過を採用してきた。

急速ろ過処理では、原水中の濁りに適した薬品の選択が鍵で、その技術開発が盛んに行われている。原水中の臭い物質に対しても酸化分解を促進させる薬品の開発も行われてきた。現在は、活性炭、オゾン処理なども行われている。より良い水質にするための技術開発が、現在でも盛んに行われ続けている。

### 3 緩速ろ過でなく生物浄化法

緩速ろ過という技術が、“細かな砂での機械的なろ過”というのは、実は過去の見解である。筆者は機械的なろ過でなく、ろ過池の砂層上部で活躍する生物群集による濁りの捕捉と分解が重要だと気づいた。微小動物の活躍が必須で、食物連鎖が浄化の鍵であった。

そこで2005年、生物浄化法(Ecological Purification System)を提唱した。「緩速Slow」とは、ろ過速度でなく「生物群集にやさしい」ということであり、細かな砂は必要がなく、砂の大きさは浄化に関係なかった。また、微小動物が活躍するには酸素が必要で、酸素不足にしないために、ろ過速度は速いほうが良かった。急速ろ過では、藻は凝集剤と反応しにくいので嫌われているが、緩速ろ過

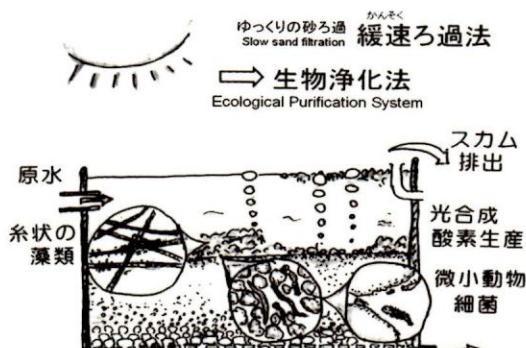


図1 生物浄化法（緩速ろ過法）の概念

では藻は動物の餌であった。

### 4 緩速ろ過の再評価の動き

1974年、「飲み水は安全か」と問い合わせたアメリカのコンシューマー・レポートは水道界にとって衝撃であった。殺菌処理に使っていた塩素剤で発がん物質を生成する危険性についての警告であった。

英國式の緩速ろ過は薬品を使わないので安全な浄化技術として注目された。そこで、緩速ろ過に関する初めての国際会議がロンドンのインペリアルカレッジで、1988年に開催された。1991年にはアメリカのニューハンプシャー大学で第2回の会議がアメリカ水道協会の後援で開催された。

その2年後の1993年、アメリカ、ミシガン州ミルウォーキーで40万人の集団下痢事故があった。その原因はクリプト原虫の休眠胞子が急速ろ過の浄水過程を通過したことであった。翌1994年、アメリカ水道協会は、オレゴン州で緩速ろ過の研修会を開催した。アメリカとカナダから多数の技術者が参加し、それにロンドンのテムズ水道の技術者とアジアから中本が参加した。この会議で薬品を使わない処理方法への熱気を感じ、その雰囲気を日本水道協会雑誌などで紹介した。

ニューヨーク州イリオンに1891年から現役で稼働している緩速ろ過施設がある。その場長が中心になり、アメリカ緩速ろ過研究会が1995年に発足した。筆者は、世界の緩速ろ過の状況を把握しようと、毎年のように研修会に参加し、その様子を日本の水道関係者に伝えようと関係雑誌に発表してきた。

### 5 水道界は業界主導

#### (1) 専門家に頼らざるを得ない

明治時代、日本は英国人の技術者から水道技術を教わり、都市水道を整備してきた。戦前の水道水は英國式の緩速ろ過処理が主であつ

たので、自治体職員でも理解ができ、維持管理も自治体職員がしてきた。

戦後、科学技術は著しく進歩し、凝集薬剤の研究開発が盛んに行われた。1964年の東京オリンピックの頃は高度成長期で、多少経費がかかっても最新技術を導入しようとした時代であった。その頃から緩速ろ過による施設の多くは急速ろ過施設へ急速に変更されていった。

最新の高度技術は、専門知識と専門技術者が必要である。水道技術の勉強会が盛んに行われてきたが、転勤がある自治体職員は浄化処理の専門技術者になりえなかつた。そこで自治体職員は、大学の学者や水道業界の専門技術者から教わり、その助言を頼りにしてきた。やがて、業界の利益になる最新情報のみが伝わるようになり、古い技術の情報は失われた。

大学では最新の水道技術を研究し、卒業生はその分野で活躍した。大学の研究者は企業からの助成金を期待して研究するようになった。その結果、薬品を使わず自然界の仕組みの活用である緩速ろ過処理を研究する人は工学部にはいなくなつた。

筆者が研究し始めたころ、古い技術の緩速ろ過の情報を文献検索しても、ほとんど見つけられなかつた。急速ろ過や高度処理を研究している専門家は、水道業界誌などに自分らに都合が良い海外の情報のみを翻訳し伝えた。

厚生労働省や各自治体の水道委員会も、水道業界が用意した情報・資料を採用した。

## (2) 日本では最新技術の情報のみ

日本の水道設計指針、維持管理指針の主な内容は、〈急速ろ過処理、高度処理、管路〉についての記述である。戦前は主流であった緩速ろ過処理や消毒のみの水道に関する記述は、ほとんどなかつた。

最近は、検索すると海外での緩速ろ過の情報は多数でてくるようになった。デジタル化

が進み、欧米の100年前の水道に関する本がインターネットで読める時代になった。しかし、厚生労働省や日本水道協会などからの情報は、検索しても急速ろ過や高度処理についてのみで、緩速ろ過や消毒のみの水道についての解説はない。日本は言葉の壁があり、意図的な情報に左右されてしまっている。

### (3) 国民を不安にさせない

NHKが「水道水離れの原因の一つが水道水への塩素添加で、緩速ろ過処理なら塩素添加量を減らすことができる」という番組を企画した。この番組では、1974年にアメリカで「飲み水は安全か」と問い合わせたコンシューマー・レポートを取り上げようとした。筆者は担当者から、このレポートのどこを紹介したらよいかを相談された。

NHKは、厚生労働省にも放送内容について意見を求めた。すると「日本の国民の大部分は塩素殺菌が必須の急速ろ過処理の水を飲んでいる。水道法で塩素添加を義務づけているのに国民を不安にさせる放送番組はどうか」と指摘された。その結果、単に「生物処理の緩速ろ過の水はおいしい」という企画になり、NHK「ゆうどきネットワーク」の2006年10月12日「続々登場こだわりの水道水」として放送された。

しかし、すでに欧米では発がん性物質を生成させる塩素の添加量をできるだけ少なくし、蛇口で残留塩素が検出されない水道水を供給する動きがでていた。

この1974年のレポートは「アスベスト管の発がん性リスク」についても指摘していた。当時、日本では水道管にアスベスト管を多用していたが、「アスベストによる肺気腫は大氣からであり、水道水が原因とはならない」と説明されていた。しかし、アスベスト管を製造していたクボタ鉄工は、翌1975年に製造を中止した。

このように、日本の中の情報は業界の都合

で取捨選択され、日本の常識は世界と異なり、日本独自のものになっていった。

## 6 生物浄化法の広まり

### (1) 宮古島から太平洋諸島へ

沖縄の宮古島は生物処理といわれる緩速ろ過で飲み水をつくっていた。しかし、ろ過池で藻が繁殖しないように殺藻剤を添加していた。新任の渡真利光俊場長は、生物毒を使うろ過処理について疑問を感じていた。そんなとき、雨水利用を促進していた東京都墨田区の村瀬誠さんは筆者と出会い、緩速ろ過の新しい解釈を知った。その直後、村瀬さんは雨水利用を調べに宮古島に行き、浄水場も訪ねた。殺藻剤を添加していたろ過池を見て、「緩速ろ過については信州大の中本さんに相談したら」と助言した。場長は、さっそく1997年7月8日、信州大の研究室を訪問した。そこで筆者は、緩速ろ過池での藻の役割を解説した。場長は宮古島に戻り、すぐに殺藻剤の使用を中止したところ、住民から「水道水がおいしくなった」と反応があった。その縁で、生物現象の比較研究を数年間させてもらった。宮古島は長野県より暖かいので生物活性が良かった。

世界中で、緩速ろ過は再評価されだしていたが、まだ誤解は多く、とりわけ生物の視点での解説本が必要だった。2005年、宮古島水道企業団の協力で技術解説本『おいしい水のつくり方』を出版することができた。

この本の中で、緩速ろ過は機械的ろ過ではなく、日本発の新しい発想の新しい技術、生物群集の活躍による浄化法であり、生物浄化法、英語で Ecological Purification System と呼ぼう、と提唱した。この本は、2009年にブラジルでポルトガル語訳本が、2010年には中国で中国語訳本が出版された。

また、宮古島水道企業団の発案で、2006～2008年、アジア諸国を対象に、JICAの草の

根技術協力事業として、緩速ろ過技術の国際研修を行った。2009年には、JICAは英語と日本語で世界中で見ることができるインターネット教材を作成し、この新しい発想の技術を公開してくれた。つまり、日本の水道業界が無視し、厚生労働省も無視してきた緩速ろ過技術を、日本発の海外支援の技術として外務省が公に認めたのである。

沖縄県企業局は2010～2012年、太平洋諸島を対象に、緩速ろ過に関する国際研修を行った。この技術は気温が高い国に向いている。沖縄での国際研修は現在も続いている、実際にサモアやフィジーでは研修の効果が出始めた。

### (2) 新しい技術移転

筆者らは、宮古島の研修効果を確かめるため、JICAの「サモア水道事業運営支援協力」として現地指導を2010～2012年に行った。雨期で河川が濁っても、沈殿池や粗ろ過で少し工夫をすれば、緩速ろ過技術で、安全な水を十分に確保できた。

しかし、日本水道協会などの指針では「緩速ろ過技術は、濁り水でろ過池が閉塞しやすいので熱帯地域には向かない技術で、凝集剤を使う急速ろ過処理が良い」とされている。

これまで海外の水インフラに関し、日本のコンサルは、実際に、急速ろ過のプラントを建設してきた。サモアでも急速ろ過を勧められていたが、サモア水道公社は、「新たに建設する浄水施設は緩速ろ過にする」と決めた。その結果、新たに2ヵ所、緩速ろ過処理で浄水場を建設しようと動き出している。

2011年夏、宮古島での国際研修に参加したフィジーの技術者は帰国後、自分で教わったモデルを自分でつくり、その安全性を自分で確かめた。フィジーの首都など大都市は、急速ろ過の水道水を給水されているが、地方は無処理の水を使っていた。2012年9月27日の「世界海事の日」に、彼はこのモデルを

展示し、首相に、「無処理の水を飲んでいる住民に、安全な飲み水を供給したい」と訴えた。「外国からの援助に頼らなくても病原菌も検出されない安全でおいしい飲料水供給施設は建設可能である」と認識させた。

首相は、フィジーの全住民に安全な水を供給しようと考え、公共事業省は何ヶ所必要かを調べた。その結果、全人口85万人に対して全国で2497ヶ所に小規模施設を建設する計画を立てた。まず2ヶ所を選び、建設を始めた。

筆者は、建設中の2013年1月と3月の2回、フィジーへ行き助言をした。その後安全性を確かめた施設が7月と9月に完成した。一つの施設で村人300人が、もう一つの村では270人が安全な水を利用できるようになった。近い将来、フィジー中で、沖縄で学んだ技術で安全な飲み水が飲めるようになると喜んでいる。

### (3) 必要な水インフラは、自分たちでつくる施設として広まる

ヨーロッパの植民地には、緩速ろ過による水道施設は必ず建設されていた。日本でも明治時代、欧州で勉強した人が安全な飲み水を供給しようとし、緩速ろ過施設を建設するのに協力してきた。

しかしながら、科学技術が進歩し、薬品処理は万能で効率も良いと盛んに勉強会が開かれ、行政も最新技術を推奨した。その結果、緩速ろ過処理の浄水施設はアメリカ式の急速ろ過施設に変更されてきた。それは既述のように、利益追求の水道業界の誘導であった。

緩速ろ過技術でつくられる水道水は自然の仕組みの賢い活用でつくられる。塩素で殺菌消毒をしなくとも安全でおいしい水をつくることができるのである。

ヤマハ発動機の技術者が会社の社会貢献として、インドネシアの住民に安全な飲み水を供給したい、と信州大を訪ねてきた。そこで

熱帯の泥水でも安全な飲み水をつくる方法を教え、実際にインドネシアで住民が維持管理できる施設を建設した。その後も、ヤマハは社会貢献として、東南アジア、アフリカなどにも建設している。

同じ頃筆者は、スリランカで病院を建設する際に、緩速ろ過で水道水を給水したいというプロジェクトも手伝った。地下水が砒素に汚染されているのがわかったバングラデシュでも、浄化施設を建設するのを手伝った。

現在、水道に関係ない複数の企業が、社会貢献として、海外で、緩速ろ過施設を建設しようと動きだしている。

### おわりに

緩速ろ過技術は水道業界から見放されてきたが、日本で新しい発想の生物浄化法として再認識された。

この技術は、小規模だけでなく、大規模の都市水道でも使える技術である。名古屋市は、100年が経過した緩速ろ過の施設を見直し、今後も使い続ける決断をした。名古屋市は、第5回緩速・生物ろ過国際会議を2014年6月に開催する。この機会に、世界への水インフラとして、日本が貢献できる日本発の技術があることを多くの人に知ってもらいたい。上述のように、実際に発展途上国で持続可能な技術と認識され、新しい動きとして広まりつつあるのである。

### 参考文献

- 1) 中本信忠『生でおいしい水道水』(築地書館, 2002).
- 2) 中本信忠『おいしい水のつくり方』(築地書館, 2005).
- 3) JICA マルチメディア教材：緩速ろ過法～安全でおいしい水を求めて～  
<https://stream.jica-net-library.jica.go.jp/lib2/08PRDM007/index.html>