

生物浄化法による安全な飲料水の普及

中本信忠

1. 薬品を使わない安全な浄化処理へ

長野県上田市の水道水は緩速ろ過処理で1923（大正12）年から給水されている。水源河川の上流に菅平ダム湖が1964年に完成すると上田市の水道水は臭くなった。当時は藻は臭い水道水をつくりろ過池を詰まらせるとして水源池やろ過池へ殺藻剤を添加していた。

「飲み水は安全か」の警告（図1）が1974年にだされ、世界中で化学薬品を使う急速ろ過は発癌物質のリスクが高く、薬品の使用を極力少なくしだした。

IS THE WATER SAFE TO DRINK?

Robert H. Harris ほか

1974年6月

コンシューマー報告

飲み水は安全か？

ミシシッピー河の下流では牧場からの農薬・肥料、工場からの廃水、下水処理排水の影響が大きい。薬品処理の急速ろ過では塩素添加が必須で発癌性のトリハロメタンを生成するリスクが高い。飲料水として安全か？

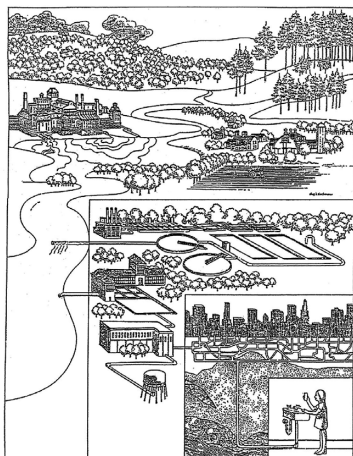


図1 「飲み水は安全か」ハリス報告1974年

2. 藻の役割と微小動物に注目

日本でも発癌物質の生成リスクが問題になり薬剤添加をできるだけ少なくしだした。上田市でも1980年頃から殺藻剤としての薬品添加を中止したら水道水がおいしくなった。緩速ろ過池で藻が大量に繁殖し生物群集が活躍しだした（図2）。

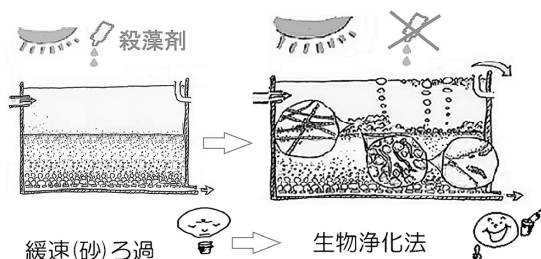


図2 殺藻剤中止でおいしい水になった

私は信州大学で1984年4月からろ過池で繁殖する藻の役割の研究を始めた。浅いろ過池の砂層表面では藻による光合成で生産された酸素の気泡の浮力で藻が水面に浮き越流管から流出していた（図3）。

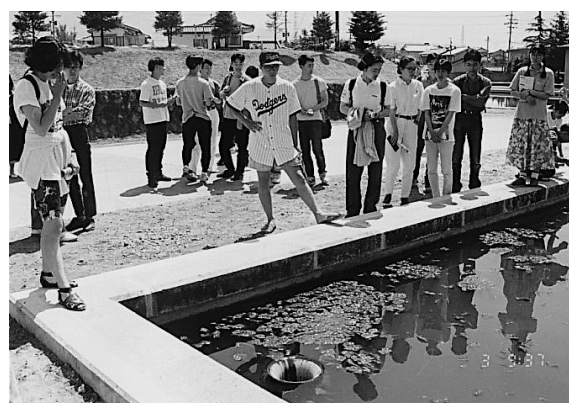


図3 浮いてきた藻は越流管から流出していた

ろ過池は上から下への流れがある。水深は浅く砂層面では糸状になる藻が優占的に繁殖していた。この藻に濁りが絡みつき、ろ過池を詰まらせない効果があった（図4）。藻は光合成で酸素を生産し砂層上部で活躍する微小動物が活躍しやすい環境をつくっていた。



図4 糸状珪藻メロシラに絡みついている濁り

ろ過池で活躍する生物の大きさは砂の粒径約0.5mmと比べるとはるかに小さい（図5）。砂の周囲でゴミに見えるのが生物である。これを顕微鏡で観察すると単細胞の原生動物や微小動物であった。砂層上部では細菌から微小動物までが活躍し食う食われる関係の食物

連鎖が成り立ち濁りの捕捉と分解が行われていた。緩速（砂）ろ過の用語のイメージとは違っていた。



図5 砂と活躍する生物、格子の間隔は1mm。

3. 緩速ろ過は瞬間浄化

砂層表面の藻は動物の餌にもなり、動物は餌を求め砂層表面近くに集まっていた（図6）。上から下への流れのある環境では砂は動かず微小動物は砂の表面、砂の陰や隙間で安心して活躍していた。

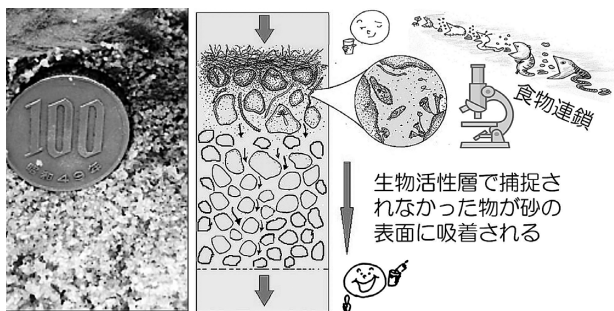


図6 砂層上部では藻と微小動物が活躍

微小生物の活躍で病原菌や生物が反応し溶けている物質も捕捉し分解していた。緩速ろ過の標準ろ過速度（砂上の水の流れ）は1日に4.8m（1時間に20cm、1分間に0.33cm）と遅い。砂層上部約1cmに大部分の生物が活躍していた。水がこの層を通過する時間は約1分間で生物群集による瞬間浄化であった。緩速ろ過は細かな砂での機械的な物理ろ過ではなかった。

急激な水質変化があると微小生物は萎縮し濁りが生物活性層を通過してしまう。通過した濁りは下層の砂の表面に吸着される。不測の事態でも濁りが漏出しないようにと砂層を厚くしていた。

4. 生物浄化の水で健康村に

ヤマハ発動機インドネシア工場では社会貢献活動で住民が維持管理できる安全な水供給を考えた。八木澄夫さんが信州大の研究室を訪ねてきた。熱帯河川は細かな濁りで茶色であるのが普通である。この茶色の水が水田で藻の繁殖と微小動物の活躍で濁りを捕捉し糞塊にして沈殿させる仕組みと解説した。この仕組

みを応用すれば化学薬品を使わず茶色の河川水でも病原菌が除けて安全な飲み水をつくれるを助言した。ジャカルタの工場敷地内で実験をし実プラントを1999年に建設した。浄化施設を建設し村に寄贈した（図7、8）。



図7 浅い水路に藻を繁殖させ微小動物を増やす



図8 沈殿、水路、最後に砂ろ過で安全な飲み水

浄化された水を飲み水と調理用に使う。共同水栓方式で全家族へ20リットル瓶を2本供給するようにした。住民が維持管理し将来の施設修理のため水道料金をとることにした。20リットル毎に500mlのペットボトル料金にし水委員が蛇口管理をした（図9）。



図9 共同水栓方式で給水管理

この水を飲み水と調理しか使わなかったが眼の病気が下痢が無くなり健康村になった。この水の評判が隣村に伝わった。この施設の浄化能力に余裕があるので隣村へまで給水タンクで供給する水道事業にまで発展した（図10）。この施設を10年後に訪問したが、問題なく村人が自主的に維持管理していた。



図10 水道事業は発展し近隣の村へも給水

その後ヤマハのクリーンウォーターシステムとして発展させた。2017年12月現在、アフリカ、アジアでの総設置数は12ヶ国24基にもなっている。

5. 薬を使わない濁り対策の上向き粗ろ過

ブラジルのルイツ・ベルナルドが1980年に凝集薬品を使わない濁り対策の上向き粗ろ過を考案し(図11) 1988年ロンドンの国際会議で発表した。国際共同研究の報告書が1996年にスイスから出版された。

私も大学で実験をし効果を確かめた。沈みにくい細かな濁りが礫表面に吸着し微小動物の働きで吸着した濁りを削り除く生物浄化法であった。

2006年から沖縄の宮古島で行いだしたJICA (国際協力機構) 研修ではバケツモデルを使い濁り対策の最

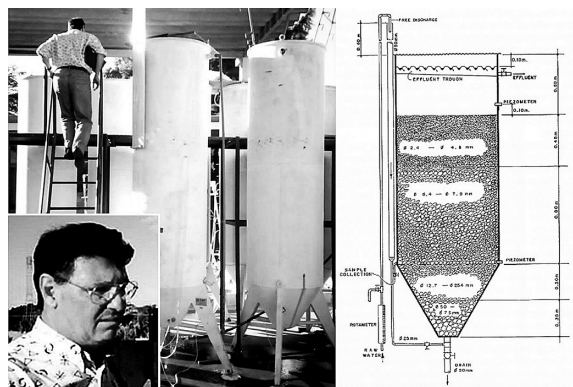


図11 ベルナルドと上向き粗ろ過実験装置

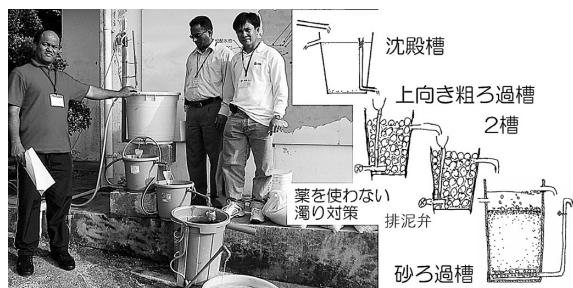


図12 バケツを使い上向き粗ろ過を説明

良技術として上向き粗ろ過を教えている(図12)。

6. 生物浄化法で国立病院に給水

スリランカの国立病院に急速ろ過の浄水施設を建設する計画があった。現地調査した日本設計の岡田有弘さんは凝集薬品を使う施設は現地では維持管理できないと判断し1999年に私を訪ねてきた。熱帯の茶色の濁り水(図13)でも上向き粗ろ過を使えば生物群集の活躍で安全な飲み水ができることを伝えた。



図13 熱帯河川の細かな泥水が水道原水

熱帯の河川は細かな濁りが多く茶色の河川が多い。そこで前処理での濁り対策を十分にし、重たい濁りを沈めて除く沈殿槽(図14)と細かな濁りを砂利を詰めた上向き粗ろ過槽を3回繰り返すことを勧めた(図15)。

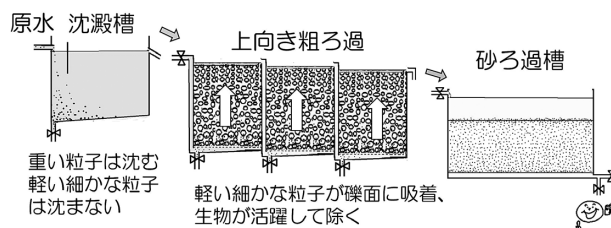


図14 沈殿槽と上向き粗ろ過で濁りを除く



図15 上向き粗ろ過は3段2組

底に蓄積した泥は、時々排泥弁から排出する。最後に砂ろ過槽で生物群集の活躍で細菌除去を完璧にする仕組みで、維持管理を考え2系列を建設するように助言した。薬を使わず、自然界の生物群集の活躍による浄化である。この水を貯水して大きな病院に給水するようにした。浄化施設が完成し2001年1月現地の技術者たちに浄化の仕組みを説明した(図16)。



図16 完成時に生物浄化の仕組みを解説

上向き砂利槽では細かい濁りが礫表面に付着する。微小動物が活躍し付着した濁りを削り取り糞塊にし底に沈める。時々、底から排泥をするのが維持管理。

最後に砂ろ過槽の砂層表面で繁殖する藻と微小動物が病原菌なども捕捉して分解し除去され安全でおいしい水になる。仕組みを理解したアーナンダ現場監督は「従来のはコマーシャル・フィルターで、これはナチュラル・フィルター」と声をだした。

7. 生物浄化法で農薬も分解し安全な水

2002年に地下水が砒素汚染されているバングラデッシュで緩速ろ過で安全な水を供給しようとしているアジア砒素ネットワーク(NGO、宮崎市に本部)があるのを知った。生物群集の活躍による浄化が重要と伝えたところ、農薬除去もできる仕組みを教えてとあった。緩速ろ過だけでなく上向き粗ろ過による藻と動物による食物連鎖の利用、糞塊での難分解性物質の分解を促進させるのが良いと助言した(図17)。

バングラデッシュの現場を見て生物浄化の仕組みと上向き粗ろ過の素晴らしさを詳しく解説した。徹底的に難分解性の農薬を分解させるには上向き粗ろ過を繰り返すのが良いと勧め、設計への助言をした。バングラデッシュで緩速ろ過を基本とした住民のための初めての浄化施設が完成した(図18、19)。

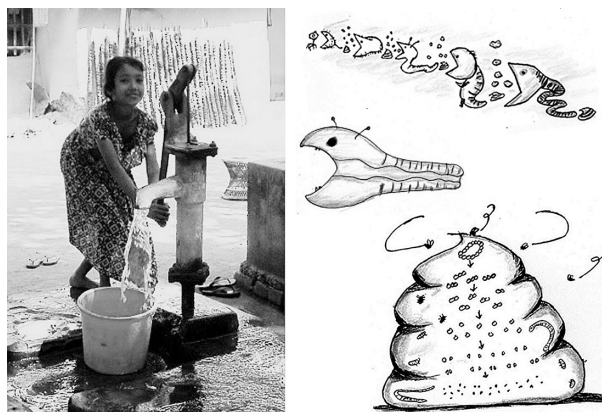


図17 砒素と農薬汚染を生物の力で安全な水へ



図18 上向き粗ろ過を4回繰り返す浄化装置



図19 藻と捕食動物の役割を解説

リーダーの川原一之さんは「緩速ろ過Slow Sand Filter」という名前では浄化の仕組みを誤解するから新しい名前を考えようと提案してくれた。浄化の仕組みは生物群集が活躍する生態系内での食物連鎖が重要なので「Ecological Purification System日本語は生物浄化法」にした。2005年8月に出版した「おいしい水の作り方」では生物浄化法という用語を用いた。

このグループはその後、新たに生物浄化法による浄

化施設を何ヶ所も建設し2019年にはユニセフ基金で新たに施設を建設していた(図20)。

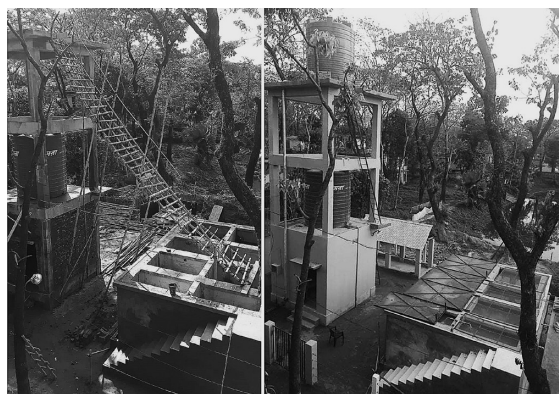


図20 2019年にはユニセフ基金で新たに建設

8. 金さん中国四川省、河南省に生物浄化法を広める

生物浄化に興味をもっていた金勝哲Jin Shengzheさんは技術解説本を出版した1年後(2006年)に信州大を訪ねてきた。そこで中国語訳を頼んだところ2009年5月に北京の科学出版社から「安全飲用水生物浄化法指南」(図21)が出版された。

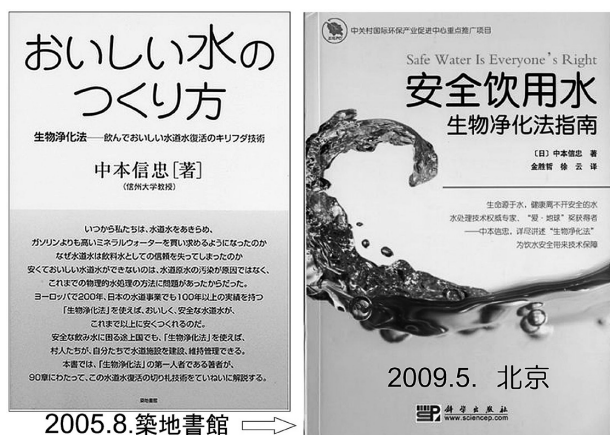


図21 中国で「安全飲用水生物浄化法指南」出版

四川大地震が2008年5月12日に発生し金さんは四川に行き生物浄化法施設を3ヶ所に建設した。金さんは建設状況をビデオ撮影し来日し2008年11月24日上田市の自宅まで来てくれた。日量30トンの沈殿槽、上向き粗ろ過、生物浄化槽を人海戦術で約1月間と短期間に建設していたのに驚いた(図22、23)。

河南省沈丘県では工場排水の影響で淮河流域の地下水が汚染され癌が多発し問題になっていた。金さんは汚染を防止する活動をしている霍岱珊Huo Daishanさんと一緒に2008年からこの地域で汚染された地下



図22 人海戦術で建設



図23 建設の速度は驚くほど速い



図24 小規模浄化装置

水から生物浄化法で安全な飲み水にする施設を建設した。図24の施設で1日6トンの地下水を浄化し一人1日12リットル給水で500人に給水でき、水質は中国の飲料水安全基準を全てクリアしている。

霍さんは多数の援助団体に建設資金を申請し、40ヶ所以上に浄水装置を建設した。私は2016年5月に金さんの案内で現地を訪問した。この地域の気候は厳寒期は水が凍結するので温室みたいに屋根をつけ日射を確保するようにしていた(図25)。金さんは中国には「積善積徳」という諺があると言っていた。

2014年8月に小学校に建設した施設(図26)は1日70～80トン、一人1日16リットルなら給水人口は4,600(246生徒)人で村人には共同水栓方式を採用していた。ろ過池(2m x 4m)で2組あった。



図25 小学校に建設した装置は屋根が半透明

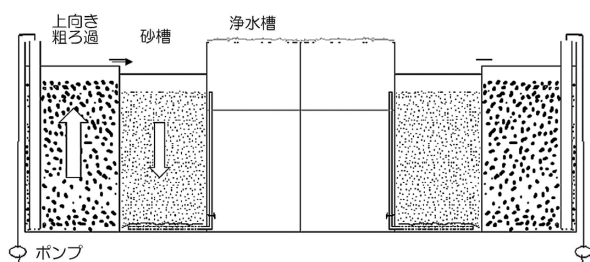


図26 施設は2組の上向き粗ろ過と砂槽と浄水槽

9. 南太平洋サモアの水道施設の改善に協力

2006年から続けている宮古島でのJICA研修の事後調査(2008年11月8日～17日)でサモアにかけた。首都アピアへ給水する緩速ろ過による浄水場がドイツの援助で1984～87年に建設されていた(図27)。

調べると1996年に指針が出版された最新の上向き粗ろ過技術が2000年に導入されていた。私の経験から判断すると濁り対策として小さ過ぎた。またこの施設指針では生物活性を考慮せず機械的ろ過の考えでろ過速度は1日に3mでろ過池水深も深かった。

流入水量が多いとろ過速度が速くなると考え沈殿槽

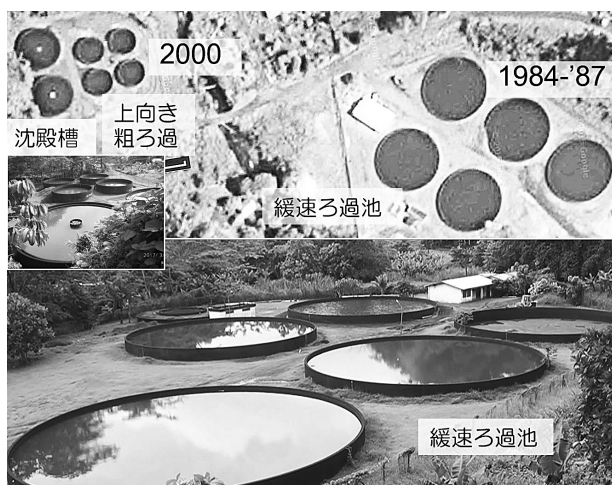


図27 ドイツの援助で建設した浄水場

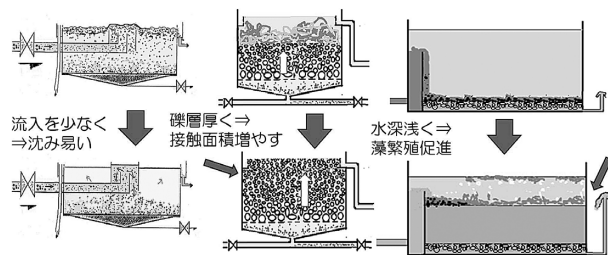


図28 浄化機能を高める改良

で濁りが沈まなかった。またろ過は水压が大きい方が良くと考え水深を深くしていた。浅い水深なら水压が小さく光合成での気泡生産が良くなり藻が浮き上りろ過閉塞がしにくくなると助言した(図28)。

サモアはドイツと異なり暖かく生物活性が良い。生物の働きと活性を良くするために上向き粗ろ過の礫層を厚くし生物が活躍する付着面を増やしろ過池は水深を浅くした。生物浄化法の考えで維持管理方法を助言した。その後、JICAはサモアへ無償資金援助で生物浄化法の浄水施設を2ヶ所に新たに建設した。

10. 生物浄化法でフィジーの全村へ安全な水を

2011年8月宮古島でのJICA研修に参加したフィジーからのビシュワ (Vishwa Jeet) さんは生物浄化法の考えなら化学薬品を使わず緩速ろ過処理は生物群集の活躍で安全な水はできることを学んだ(図29)。



図29 宮古島袖山浄水場でJICA研修



図30 モデルで仕組みを学び水のおいしさを知る



図31 自分でモデル作成、安全水事業が始まった

ろ過水を飲み、そのおいしさに感動した。さらにバケツモデルで濁り対策と浄化の仕組みを学んだ。この仕組みなら自分らでもできると確信した(図30)。

当時のフィジーの村では無処理の水を利用し、雨が降ると水が濁り安全性に問題があった。そこで自分でモデルを作り雨水タンクの水で安全性を確かめた(図31)。雨水タンクの大きさの装置なら全村人に安全な飲み水を供給できると考えた。「世界水の日」にモデルを展示した。そこで首相にモデルで村に安全な水を給水できると訴えた。その結果、国家事業「生物浄化法による安全な水を全村落へ」が始まった。2013年1月16日事業の開始式典が盛大に開催された。宮古島の上地昭人課長と私は式典に参加し講演をした。

既存の無処理の水道用の沈殿槽の水を生物浄化で安全な水にし共同水栓方式を採用した(図32、33)。上下水道局は工務部の協力で試験的な浄化装置を2村に建設し通水式を2013年7月と9月に行った。

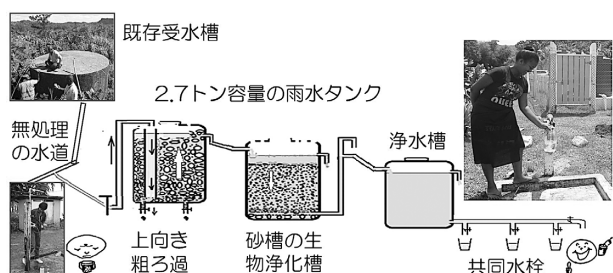


図32 無処理の水から安全な飲み水へ



図33 雨水タンク利用の村の生物浄化装置

しかしフィジー政府側だけでは実施の建設は難しくJICAに要請があった。JICAは2014年10月から2年間、年2回約1月間の短期専門家とボランティアで協力し

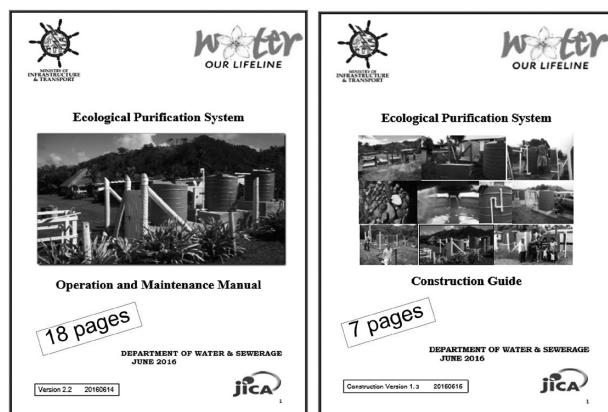


図34 18頁の維持管理指針と7頁の施工指針



図35 2018年末までの4年間に設置した場所

た。施工状況は間違いや維持管理の方法に誤解が多かった。そこで詳細な設計・施工図面と維持管理と施工注意の指針を作成した(図34)。その後、更に2年間の派遣要請がだされ協力した。その結果、フィジー中に2018年末には100基以上の生物浄化施設が稼働している(図35)。

この事業はフィジー政府主導で実施され、毎年30基前後の建設が政府予算で賄われ、JICAは中本とボランティアの派遣による技術協力を行っただけである。生物浄化法技術は自分らのできる技術として日本からフィジーへ確実に伝わった。

11. 世界に伝わる日本発の生物浄化法

生物浄化法の技術解説本は中国語訳本が中国で、ポルトガル語訳本がブラジルで出版された(図36)。JICAは日英のネット教材を作成し公開した。私は名古屋市での第5回緩速・生物ろ過国際会議(2014年)の開催に協力し、2018年8月ニューカレドニアでの太平

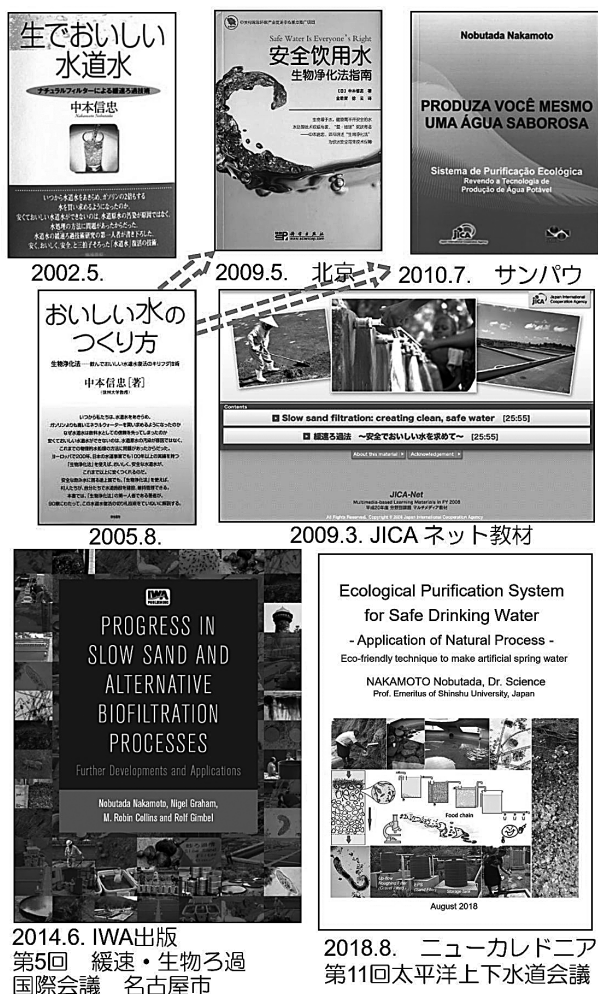


図36 生物浄化法に関する本

洋上下水道会議の英文解説冊子(下記http)を配った。

http://www.cwsc.or.jp/files/member_lmted/doc25.pdf

緩速ろ過法は1829年英国ロンドンで生まれ安全な水ができるとして世界中に広まった(図37)。しかし濁り水対策で薬剤を使用し臭気、ろ過閉塞、発癌物質生成などの問題が生じた。ブラジルで薬を使わない濁り対策の上向き粗ろ過が開発され、日本で濁りの捕捉と分解は生物群集の活躍がカギと気づき、生物浄化法と名前を変えた。日本発の新しい浄化技術として生物浄化法Ecological Purification Systemは世界に広まりだしている。

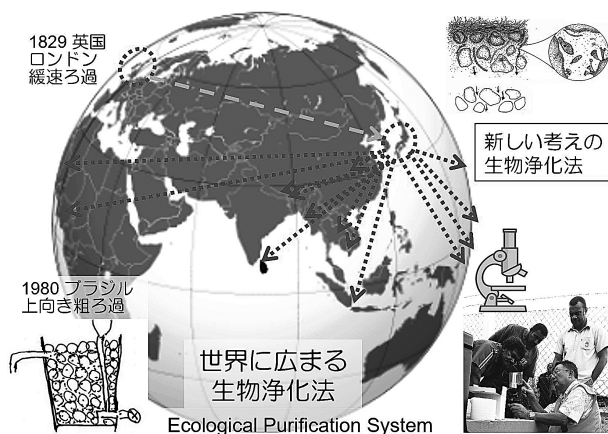


図37 日本から世界に広まる生物浄化法

日本発の生物浄化法は仕組みを理解すれば自分で身近な材料でできる技術だった。外務省のODA白書で「わかる国際情勢—国際協力60周年」(2014年7月1日)に宮古島でのJICA研修の様子を取り上げてくれた(図38)。この技術は海外だけでなく日本国内でも普及することを願っている。



サモア・水道事業運営(宮古島モデル)支援協力 JICA提供

図38 「未来への投資」としてのODAの記事

中本信忠