

連載

# 生物屋の緩速ろ過池研究

## その8 硬度が高い淡水レンズ水の島、宮古島を調べる

信州大学名誉教授 中本 信忠



1974年にはアメリカのハリス報告で水道水への塩素添加で発癌物質が生じる危険性が指摘された大きな問題になっていた。

日本も高度成長に伴い都市の人口が急増し水需要が増大し水道水の水不足が大問題であった。また水道水源の汚染が酷くなり水道水に添加する塩素量が年々増加した(図2)。村瀬さんらは水道水の赤水苦情が多くなったのは「反応性

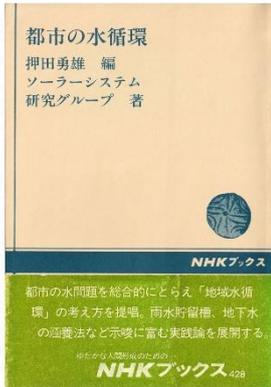


図1 都市の水循環

1. 腐植性の高い水道水を問題にした研究グループ

東京都特別区職員研修所の自主研究グループは1982年12月に『都市の水循環』という本(図1)を出版した。この研究グループ代表は墨田区向島保健所の村瀬誠さんで薬剤師だった。

薬剤師会は水道水質検査を担当。薬剤師は安全でおいしい水の勉強をしていた。

私は1984年から上田市の染屋浄水場での藻の繁殖が水質を良くするのに気づいた。緩速ろ過について世界の情報を調べたら世界保健機構WHOが薬品を使わない緩速ろ過指針を1974(昭和49)年に出していた。この指針を見た図書館を通じて調べたら東京大学があり出版して直ぐに登録されていた(図3)。

がある塩素を大量に使用した腐植性の高い水道水」が問題と指摘していた。

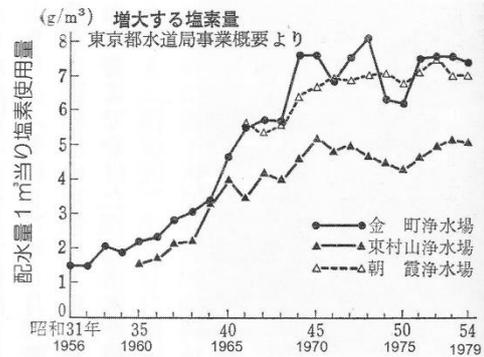


図2 増大する塩素量



図4 水源観察会の調査

私は1993年6月12・13日に長野県薬剤師会主催の菅平水源観察会(図4)で「菅平ダム湖の富栄養化と緩速ろ過による生物群集

2. 薬剤を使わない緩速ろ過に注目

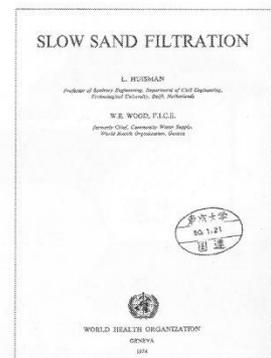


図3 WHO緩速ろ過指針

人口増加で、河川水の汚染が進行。水道水への塩素添加量を問題にした。

東大へは国連からWHOの寄贈本

集水域生態系という考えで、水利用を考える。

東京は毎年のように水不足であった。また都市河川は水質汚濁が進行し、浄水場で浄化処理の負荷が増大し、塩素使用量が増え発癌性物質の生成リスクが大きくなる

3. 水循環と雨水利用の重要性



図5 上田市の水源地と浄水場

による浄化」について解説し、菅平ダム湖と染屋浄水場を案内した(図5)。この水源調査、見学会は上田薬劑師会の小林純一さんが担当した。小林さんは千葉大薬学部卒で同じ大学の同窓で緩速ろ過に興味を持っていた村瀬さんにも声をかけた。そこで東京から何人かが参加し、緩速ろ過池で繁殖する藻や微小生物の役割に感動して

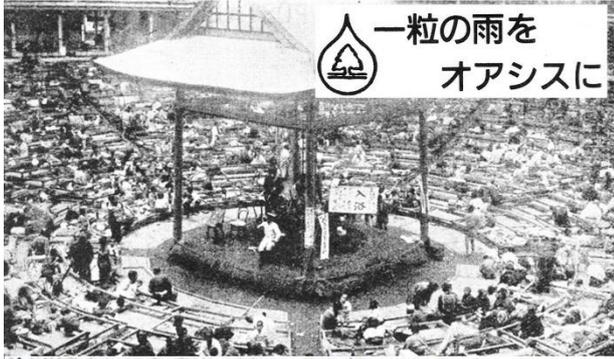


図6 国技館は水害時の避難場所

なっているのが危惧されていた。水源観察会に参加した村瀬さんからももらった名刺には明治43年8月の洪水時に両国国技館が住民の避難場所として使われた写真(図6)と「一粒の雨をオアシスに」という標語が印刷されていた。墨田区は海抜が低く豪雨があると河川は増水し水害を心配しないといけなかった。水循環を勉強していた村瀬さんは戦後、都市が発達し水不足になっているが、雨水を無駄に海に流していることに注目

太平洋の小さな島では、どこでも雨水利用が普通。



図7 雨水貯留槽

した。そこで1985年に完成した両国国技館に大規模な雨水利用設備を建設するのに貢献した。また河川の水不足を解消させるために降った雨を地下浸透させ、土地の保水力を大きくさせることにも注目させる動きにも貢献した。その後、「雨水利用東京国際会議」が1994(平成6)年8月に東京の「すみだリバーサイドホール」で開催され16カ国、8千人が参加した。この国際会議は日本での雨水利用を促進させるきっかけになった。沖縄では昔から屋根に降った雨水を貯水して利用するのが普通であった(図7)。そこで村瀬さんは1997(平成9)年6月、隆起サンゴ礁の島の宮古島での水利用の調査にかけた。地下水を揚水

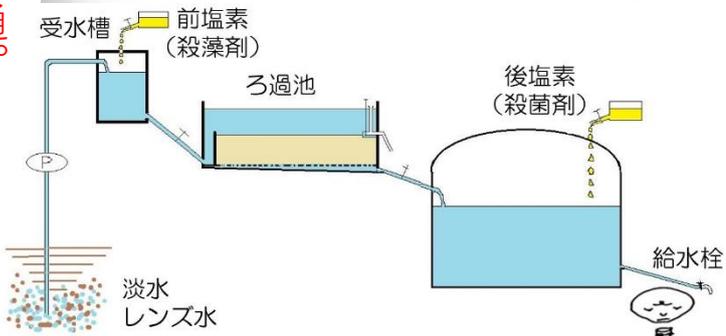


図8 殺藻剤添加しての緩速ろ過

し緩速ろ過による袖山浄水場があり平良市(2005年から宮古島市)へ水道水を供給していた。村瀬さんは袖山浄水場を見学したところ、ろ過池は生物が活躍している兆候はなかった。単に水を細かな砂でろ過をしているだけだった。当時の宮古島上水道企業団ではろ過池で藻が繁殖するといけないと考えていた。そこで浄水場の受水槽へ殺藻目的の前塩素添加をして砂ろ過をしていた(図8)。

緩速ろ過池で繁殖する藻が悪いと、殺藻剤を添加した。生物処理を誤解していた。

慰霊（いれい）の日は、1945（昭和20）年6月23日に日本軍の組織的戦闘が終結した節目として琉球政府や沖縄県が定めた記念日。米軍統治から1972（昭和47）年5月15日に本土復帰した。2022年は50年。

米軍は沖縄へ水道整備に、過疎の島嶼には緩速ろ過を勧めた。



図9 琉球高等弁務官

村瀬さんは上田市で学んだ緩速ろ過の浄化の仕組みと違うので「緩速ろ過処理については上田市の信州大学繊維学部の中本さんに相談したら」と助言した。

4. 宮古島の水道

第2次世界大戦後、沖縄にはアメリカ軍人が任官する琉球列島高等弁務官（The High Commissioner of the Ryukyu Islands）が設置された（図9）。沖縄には簡易水道もない集落が多く、高等弁務官資金で水道が整備された。高等弁務官は沖縄の離島では急速ろ過の施設を維持するのは難しいと判断し緩速ろ過を勧めていた。



図10 深井戸の水を汲み上げる人車

昔から宮古島の水道事業は町村で運営されていた。1953（昭和28）年5月白川田の地下水を揚水する施設と緩速ろ過による袖山浄水場が完成した。その後、宮古島用水管理局となった。

宮古島は隆起サンゴ礁の島で平坦で河川がない。昔から住民は屋根に降った雨水を貯留し、また地下に浸透した水を深井戸などから揚水して利用していた。袖山浄水場には実際に使用していた直径5メートル位の大きな人車がろ過池の横に展示されている（図10）。大きな輪の中に人が入り、歩くことで輪を回転させ深井戸から水を掬い取る仕組みである。

この報告は宮古製糖にも提出していた。この報告は宮古島における地下水資源開発の先鞭をつけた。宮古島は浅い海底でサンゴが発達し隆起した島で、多孔質の石灰岩の島である。降った雨水は容易に地下に浸透する。多孔質の石灰岩なので海水も地下に浸透する。雨水と海水は多孔質の岩石の隙間に入るが混ざらなかつた。比重が軽い雨水は淡水レンズと言われる

アメリカ民政府（高等弁務官）は1963（昭和38）年6月に沖縄諸島の水利の基本計画を、同年12月に宮古島水道の基本計画もまとめた。これらの計画を元にアメリカ民政府（高等弁務官）の強い指導で地下水資源の統一的管理のために地下水保護管理条例が1964（昭和39）年5月に制定され、翌1965（昭和40）年に宮古島上水道組合が設立した。

この基本計画はハワイ・ホノルル市水道局の技師であったJ. F. ミンク氏が担当していた。彼は1963（昭和38）年に約1カ月間宮古島に滞在し、干ばつで困っていた宮古島には相当量の地下水（淡水レンズ水、図11）があるという報告書を宮古製糖にも提出していた。この報告は宮古島における地下水資源開発の先鞭をつけた。

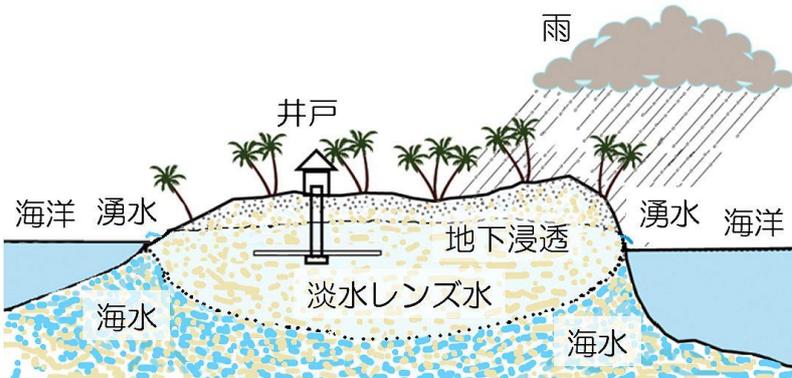


図11 淡水レンズ水

状態になっていた。太平洋などの島々では降った雨水と、浸透した地下水を利用するのが一般的であった。地下に浸透しきれなかつた淡水は海岸近くの崖や海岸から湧水となって溢れていた。

その後、宮古島は地下ダムを建設し地下水利用が盛んになった。これらの経緯については、現在は

(81) 雨水は海水より比重が軽い。地下に浸透した水は比重の重い海水とは混じらない。

生物群集が活躍しだすと水道水はおいしくなった。

ネットで検索すると多数の英語や日本語での報告を見ることができ。アメリカ軍は沖縄の島嶼の適切な水利用とその保全に関し沖縄の経済状況を考え、沖縄が日本へ返還後も持続できるようにと考えていたものと思われた。

沖縄は米軍統治から沖縄県として1972（昭和47）年5月に日本に復帰し、宮古島上水道組合は宮古島上水道企業団になった。1999（平成11）年4月には硬度が高い地下水の硬度低減化施設が供用開始された（図12）。その後、2005（平成17）年10月の市町村合併で宮古島市水道局に、2010（平成22）年4月からは宮古島市上下水道部となった。

#### 4. 宮古島袖山浄水場長が信州大学へ

1997年7月8日、袖山浄水場の渡真利光俊場長と水質担当の池間昌克さんが信州大学の研究室を訪ねてきた。

村瀬さんから「緩速ろ過については信州大の中本さんに相談したら」と助言されたという。

私は生物群集の活躍による浄化



図12 袖山浄水場と硬度低減化施設

の仕組みを解説し、染屋浄水場を案内した。ろ過池で藻が繁殖している様子を見せた。染屋浄水場でも昔は原水に殺藻剤を添加し水道水がまずかったことを説明した。1974年のハリス報告で世界中で塩素添加をできるだけ少なくするようになったことを説明した。上田市でも前塩素処理を止めたところ、水道水がおいしくなり、生物群集の活躍で臭気物質などが分

解されたことを解説した（図13）。しかし気をつけなさいといけないうのは「ろ過池で繁殖する藻が多くなり過ぎ、夜間、呼吸で水中の溶存酸素が極端に少なくなると生物群集が嫌がる」と説明した。そこで浮上藻を越流させるのが良い管理であると説明した。

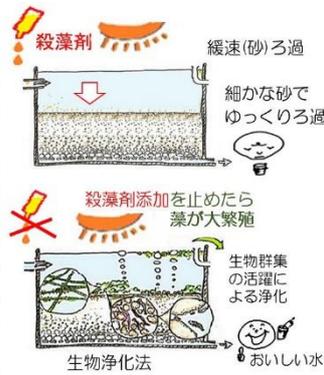


図13 殺藻剤と緩速ろ過

殺藻剤添加を中止するろ過池では生物群集が活躍し藻が繁殖すると伝えた。袖山浄水場には9つのろ過池があるので、実験的に1つのろ過池だけでも塩素添加を止めてみたらと助言した。

袖山浄水の受水槽に塩素添加し、9つのろ過池へ送水していた。1つのろ過池だけを塩素剤添加を中止することができなかつたので、7月24日から全ろ過池への前塩素

添加を中止した。そしたら直ぐに市民から企業団へ「硬度低減化施設が完成したのか」と問い合わせがあった。硬度低減化施設が稼働する1年前に水道水がおいしくなった（図14）。

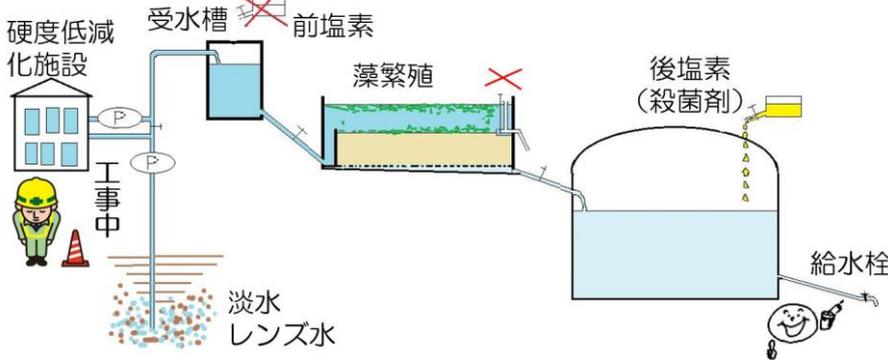


図14 殺藻剤中止と緩速ろ過

水道水がおいしくなった。

表面を削り取ると砂は汚れていない。

宮古島でも前塩素剤添加を中止したので、緩速ろ過池で生物群集が活躍し、生物が反応する溶けている物質が分解し「おいしい水道水」になった。上田市での殺藻剤添加を中止した時と同じで生物群集が活躍しだした。それまでは淡水レンズ水（図11、前出）を単に細かな砂で機械的に篩いろ過をし濁り除去だけをし、溶けている物質は除けていなかった。

渡真利場長より10月9日に「浄水場では水面に大量に浮上している藻を取り除く作業が大変」という電話があった。宮古島では淡水レンズ水をポンプで揚水しているので、水を越流させて無駄に捨てることはできなかった。当時、水不足の東京でろ過池の越流管に蓋をしているのを真似して、宮古島でも越流管に蓋をしていた（図15）。そのため浮上藻を自動的に越流させることができなかった。この時、翌月の11月21日（金）広島県庁で緩速ろ過の勉強会をすると知らせたところ参加してくれた（図16）。広島で宮古島の浄水場を見てみたいと相談し12月12日に初めて宮古島を訪問した。



図15 越流させられない



1997年11月21日 図16 広島県庁での勉強会

袖山浄水場は宮古空港の滑走路の延長線上にあった（図12、前出）。着陸直前に窓からろ過池で藻が大繁殖している状況を確認できた（図17）。浄水場に行くとき緑色の緑藻が大繁殖をしていた。浮上藻を取り除く作業が大変であった（図18）。上田市のろ過池では茶色の糸状珪藻が優占するが暖かい宮古島では緑藻が優占していた。環境の違いで優占する藻の種類は異なるが、上から下への流れの環境では糸状になる藻が優占するのは同じであった。浄水場の受水槽を調べると殺藻剤を添加していた管があった（図19）。

当時は宮古島の水質が悪いのは硬度が高いのが原因とのことで硬度低減化施設を建設中であった。しかし施設が稼働する前に水質が改善され市民が「おいしい水」になったと気づいた。当時、企業長から「中本さんと数年前に知り合っていたら硬度低減化施設を建設しなかったかも」と言われた。袖山浄水場の硬度低減化施設が供用開始されたのは1999（平成11）年4月であった。施設は「硬度が高い水は石鹸の泡立ちが悪く、



図17 ろ過池に藻が一杯



図18 浮上藻の除去作業

殺藻剤添加を中止したら、ろ過池で藻が大繁殖した。

広島県企業局の瀧田英生さんが勉強会を  
と奮闘して水道関係者を集めた。

ろ過池で藻を繁殖させないようにと、殺藻剤を添加していた。

生物処理なのに生物を殺していた。



図19 受水槽へ前塩素添加

軟水の方が石鹼の使用量が少なく、また硬度が高い水は水道管の内壁やボイラーなどにスケールが付きやすいので、軟水の方が良い」と説明されていた。

宮古島を案内してもらったところ、降った雨を効果的に地下浸透させる地下浸透槽が多数設置されていた。地下浸透した水は地下の淡水レンズ水になり、この水を揚水し高台にある大きな貯水槽に送水していた。

サトウキビ生産が盛んで農業生産を上げるために給水スポット



図20 農業用の給水スポット

(図20) が各地に設置されていた。農業生産が盛んなので地下水には肥料成分や農薬などが浸透する。そこで宮古島では水循環、水質保全の意識が高かった。

また海岸の崖から流出する水を有効利用するために国営宮古土地改良区事業として地下ダム工事(1996年9月から1999年3月)が行われていた(図21)。

サンゴ礁の島には地下に淡水がある。汲み上げ農業利用。



図21 地下ダムの説明

### 5. 袖山浄水場の藻の繁殖を調べる

1998年4月には渡真利さんは次長になり私はろ過池の藻の繁殖状況を調べさせてもらうように頼んだ。硬度低減化施設が稼働する前であったが日射量が大きな1998年6月、学生を連れて調査をした。企業団からは大学職員分だけを正規の旅費を支給してもらった。その旅費で羽田からは安売りの飛行切符で行き民宿し浄水



図22 大繁殖しているろ過池

場を調査させてもらった(図22)。ろ過池の水面に緑藻が大量に浮上していた。繁殖している糸状緑藻を顕微鏡で観察すると白い四角の結晶が付着していた(図23)。顕微鏡用スライドガラスとカバールとの隙間に料理用の酢を滴下すると気泡が生じた。硬度が高い水中で藻が光合成をして酸素を生産し水中の炭酸ガスを吸収し、水中のpH(水素イオン濃度)を高くした。その結果、水中の炭酸カルシウムが析出したと考えられた。酢という酸でpHが下がり炭酸ガスが

浮上藻を、排出できないと、水面に緑色の藻が大量に浮上していた。

珊瑚礁ができるのも、海水中の溶けている炭酸カルシウムをサンゴに共生している藻の活躍。

Bio-Mineralization 生物学的鉱物化という

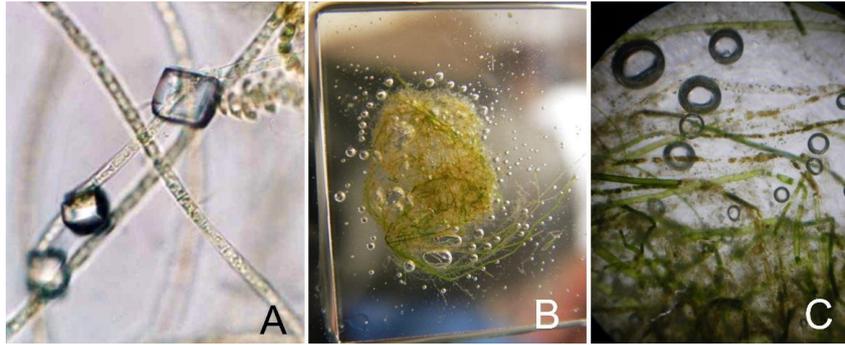


図23 藻に付着した結晶が酸処理

生じて気泡が生じたと考えられた。工事中の硬度低減化施設は原水に苛性ソーダを添加しpHを上げて炭酸カルシウムの結晶を生成させて沈殿させ、その上澄液を硫酸でpHを戻す仕組みである。ろ過池では藻が繁殖して、この行程を行っていた。実際に、ろ過池の浮上藻に携帯pH計を差し込んで測定した

沖繩は生物活性が良い



図24 浮上藻の収穫

ところ、pHは12・4という高い数値を示した。しかし砂層を通過したろ過水のpHは中性に戻っていた。生物が繁殖することで硬度低減化を促進している可能性がわかった。1999（平成11）年4月に硬度低減化施設が供用開始された。その後でも硬度は低減化しても肥料成分はそのまま、ろ過池では藻が大繁殖した。そこでろ過池での藻の繁殖量ほどの位かを上田市の染屋浄水場で行ったのと同じ方法で浮上藻を収穫してみた（図24）。収穫量は天候に左右され、1、2日の値だけで論ずるのは難しいが、染屋と同じくらいであった。



図26 正常の砂層（上）の砂は白く、砂層が酸素不足になると黒い砂層（下）になる。

水が流れないと、酸素不足になる。



図25 浮上藻の除去作業

浄水場では浮上藻を熱心に捕集して取り除いていた（図25）。効率的に浮上藻を取り除いたろ過池の

砂面の砂は汚れていなかったが、浮上藻の取り除きが悪くろ過池の隅で浮上藻が沈降し、ろ過速度が遅くなった場所の砂面は黒くなり、硫化水素臭をしていた（図26）。砂面に沈降した藻が呼吸と微生物の分解で溶存酸素を消費した結果であった。この黒い砂層の厚みは数センチで深くまでは還元的になっていなかった。そこで溶存酸素濃度の日変化を測定したところ（図27）、夜明け時のろ過水の溶存酸素濃度は嫌気的になるほどではなかった。また藻の光合成量がどれ位かを実測しようとし溶存酸素濃度の日変化を測定した。しかし、ろ過速度は一定でなく、配水池が一杯になるとろ過を止めてしまっていたので、1

水温が高く、日射量が多いなら、生物活性が良い。それなら、酸素不足にしないように、ろ過速度を速くする必要がある。

日の酸素生産量を正確には実測できなかった。その後、各地の浄水場を調べると、ろ過速度を急激に変更したり、ろ過を止めている浄水場が多々あった。

## 6. 生物浄化の解説冊子を出す

宮古島での調査は年に1回か2回であったが、浮上藻を越流させられない問題、ろ過速度を中断させる問題などがあった。

そこで長い間調査をさせてもらったのでわかりやすい解説ビデオを作ろうと思いい2003年秋に学生を連れて宮古島に行き撮影して完成させた(図28)。その後、宮古島上水道企業団は2006(平成18)年から3年間、JICA草の根技術協力の「緩速ろ過を使用した上水道の管理技術研修」を実施し、私も協力した。この研修で手作りしたビデオを見せたところ「英語の字幕があるとうれしい」と言われ編集し直し、2007年7月に完成させた(図29)。

JICAもこのビデオを参考に2009年3月に英語と日本語の教材「JICA-Netライブラ

学生と、生物活性の日変化測定。



図27 溶存酸素の日変化を測定



図28 ビデオ撮影班と企業長

宮古島の水 英語字幕入り  
Quest for Safe and Delicious Tap Water

安全でおいしい水を求めて  
Safe and Delicious Water

<https://www.youtube.com/watch?v=r1LIPuQliu0>  
2004.3.⇒  
英語字幕入り2007.10.

図29 手作りの宮古島の水 ビデオ

やはり動画でと解説をと手作りした。

緩速ろ過の技術解説本を出す必要を感じていた。「信州環境フェア2004」が「持続可能な社会への変革・エコライフで暮らしが変

JICA-Netライブラリ、緩速ろ過法 ～安全でおいしい水を求めて～

英語フル 26分

日本語フル 26分

英語ダイジェスト 3分

日本語ダイジェスト 3分

図30 JICAネット教材

り、緩速ろ過法・安全でおいしい水を求めて』を作成した。JICAは10年後に編集し直し、英語版と日本語版、ダイジェスト版とフル版にしてYouTubeで公開した(図30)。なお、このビデオ内のろ過池モデルの樽は上田市の中本の自宅で使用していた野沢菜の漬物樽である。

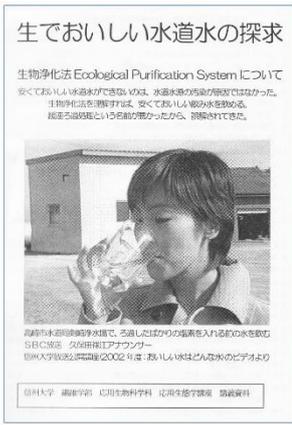
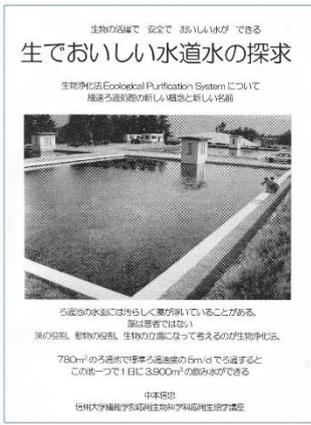
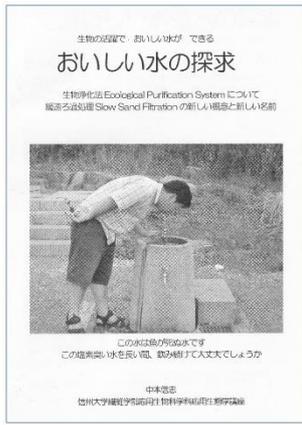


図31 手作りの講義資料

「わかる社会が変わる」をテーマに長野市・ビッグハットで2004年7月17・18日に開催された。この機会に皆に緩速ろ過技術について知ってもらおうと大学の印刷機で冊子を手作りし配った。その後、大学での講義の資料として4回も改訂をした(図31)。

私は大学の研究・技術者であるので技術解説本を出版しなかったが、出版を引き受けてくれる出版社がなかった。そこで渡真利企業長に相談したところ「職員を同じような気候の島国や東南アジアに研修にでかけさせたい」という。そこで宮古島での浄化法を解説したいが英語版だと職員は困るし、日本語版だと外国人は困るという。そこで日本語版に英語での抄訳をつけ宮古島水道への報告書『おいしい水のつくり方』として築地書館に頼んで2005年8月に印刷してもらった(図32)。その後、表紙だけを変えて市販本として出版してもらった(図33)。

その後、JICA研修や海外での経験で新しい知識が増えた。築地書館から出版して15年が経過した。そこで大幅に増補改訂し、カラー写真を豊富にしてA5版からB5版と大きくし『おいしい水のつくり方②』として2020年8月に600部を自費でテスト印刷し、1000円と記載した。このテスト印刷冊子を有償、無償で配り、残部が少なくなった。このテスト版を信州大学繊維学部同窓

会の千曲会に差し上げ、もし可能なら同窓会出版で印刷してくれないかと頼んだ。その結果、同窓会から定価1500円として『おいしい水のつくり方②』(図34)を出版してくれた。

2006年からの宮古島から始めた国際研修は最初は東南アジア



図34 最新の技術解説本

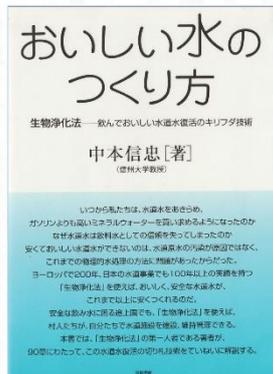


図33 市販本



図32 水道企業団への報告

技術解説本をと出版できた。

外務省は世界への日本の貢献技術を紹介



2021年2月18日公開  
世界の水をきれいに  
Clean Water for All  
(7ヶ国語)



<https://www.youtube.com/watch?v=xnj7wfkGYAc>

図35 Japan Video Topicsで取り上げ

と大洋州から4名だった。その後、宮古島と石垣島で2006年から大洋州からの15名になった。さらに、研修は沖縄本島へも展開しオール沖縄の協力体制になった。宮古島から始めた研修は現在も続いている。また、日本の文化や技術を紹介する外務省のジャパン・ビデオ・トピックスで「世界の水をきれいに」として高崎市と上田市で撮影し緩速ろ過の技術を2021年2月に7カ国語で公開してくれた(図35)。