

日本水道新聞社の月刊雑誌：

水道公論 61 (10) : 76-87, 2025 年 10 月号

雑誌の印刷は白黒。写真を元のカラーへ、追記もした。

生物屋の緩速ろ過池研究

その49 生物浄化法と上向流粗ろ過のルーツはブラジル

信州大学名誉教授 中本 信忠

1 南米ブラジルで何かできるかな

今から50年以上も前の事。ブラジルの大都市近郊のダム湖が富栄養化し藻が大量に繁殖して問題になっていた。当時、自然（環境）と生物群集の関係を研究する生態学が注目されだしていた。

ブラジルで一番有名なサンパウロ州立大の工学部衛生工学科の先生とサンパウロ州に創設されたサンカルロス連邦立大生物学科の先生らがダム湖生態系利用を考えた（図1）。ダム湖で繁殖する藻を動物プランクトンに食べさせ、魚の餌にし、最終的には人間の食料へと考えた。私はダム湖生態系利用という発想は応用生態学としての新しい構想と思った。

私は大学院生時代、海洋の植物プランクトンの繁殖、光合成の研究をした。植物プランクトンを実験室で培養し、栄養塩と繁殖の関係を研究していた。

東大の田宮博先生らが1960（昭和35）年代に行ったクロレラ的大量培養は世界的に有名だった。私も藻類培養するのに田宮先生

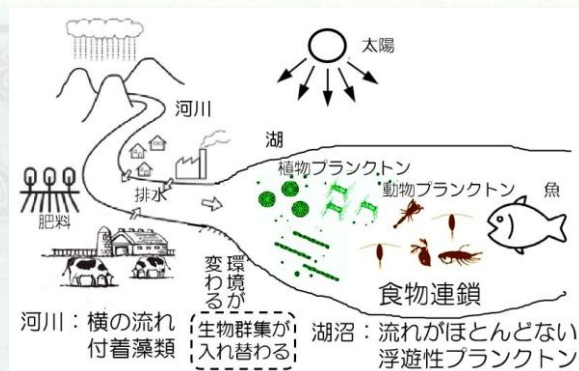


図1 ダム湖内遷移現象

の研究を参考にしていた。

そんな時、ブラジル政府から藻類培養を教えると日本に要請があった。東大には藻類培養を教えるに南米ブラジルに行く人がいなかった。田宮先生の弟子である東京都立大の宝月欣二先生にまで声がかった。

私は、都立大の宝月先生が指導する生態学研究室の大学院生で、藻類の成長と栄養塩の関係を研究していた。また、ダム湖の流入部で鞭毛藻類が特異的に繁殖する現象を研究し淡水赤潮現象として発



図2 淡水赤潮現象

表したことがあった（図2）。河川の流水環境からダム湖流入部で水の流れる速度が急に変わり、新しい環境に遭遇すると新しい生物群集が繁殖しだす事に気づいていた。私は、大学院博士課程を修了したオーバードクターで就職を探していた。私は新しい環境を見て経験し、ブラジルという新しい熱帯生態系を実体験することはマイナスではないと思った。英語圏でないのは少し残念だがブラジルに行く事にした。

私は藻類培養を教えるために「ブラジルに2年間も行ったら日

南米、ブラジルで、新しい発見があるかなと期待してでかけた。

研究者は新しい発見、新しい事を常に求めている。

湖沼研究は、湖心、水深が深い場所での研究が主だった。神流湖で流入部は、生物群集が新しい環境に遭遇し、そこで、栄枯盛衰があるのに気づいた。そこでは、鞭毛藻の繁殖に最適な場所だった。

「本社会から忘れ去られてしまう」と少し不安があった。そこで藻類培養を教えるだけなら、3カ月間で可能と考え、2年間の要請を3カ月間にしてもらい1974（昭和49）年8月に出かけた。

2 ブラジルで自然界の生物は、ハングリー状態は普通と気づく

ブラジルのサンパウロ空港に着きサンパウロ大工学部キャンパスがあるサンカルロス市に行く途中の車の中で、日本へ要請したサンパウロ大工学部衛生工学科のサムエル Samuel Branco 教授は学部長になつてしまい、時間が取れなくなつたのを初めて知った。共同研究者のサンカルロス連邦立大のツンジシ Jose G. Tundisi 教授夫妻も一緒に空港に迎えに来てくれていた。

ツンジシは海洋植物プランクトンの生産力研究をしていて、陸水のダム湖生態系研究を始めたばかりであった。ツンジシは私と専門がほとんど同じで車の中で話が弾んだ。ツンジシは「時間があるなら連邦立大に来たら」と言われた。奥さんのタカ子 Takako Matsumura

Tundisiさんは日系ブラジル人でサンパウロ大で動物プランクトンの研究者でサンカルロス連邦立大教授であった。

サンパウロ大工学部とサンカルロス連邦立大は州都サンパウロ市から内陸へ235キロメートル、サンパウロ州の地理的中央付近のサンカルロス市にあった。サンカルロス連邦立大は1970（昭和45）年創立で、生物学科長であったツンジシは生態学を学科の特徴にしていた。

ツンジシはサンパウロ大の海洋研究所でサントスの沿岸域での植物プランクトンの生産力研究で1969（昭和44）年に博士の学位を取得した。創設したばかりのサンカルロス連邦立大に移り、英国のサウザンプトン大に留学し英国で陸水学を勉強して戻ったばかりであった。

私はサンパウロ大では教える相手が居なくなり、時間があるのでサンパウロ大の図書館に通っていた。しばらくしてツンジシに誘われたサンカルロス連邦立大に行き、藻類培養のデモ実験を始めた。培養が軌道に乗ると皆が興味を示しだした。

サムエル教授の奥さんに連邦立大に来てもらい藻類培養の基本と実際について教えた。藻類の成長は遅いので時間に余裕があった。そこでツンジシらの研究対象であったダム湖（ロボ湖、通称ブローア湖）調査に同行した。当時、ブラジルでは長さ100キロメートル以上のダム湖を次々と建設していた。長さ7キロメートル、平均水深3メートルの浅いダム湖を大学の研究用に使って良いという事だった。

日本では山間の深いダム湖や湖が普通だが、私は大陸の平野部のサバンナ地帯で乾期や雨期がある地域の浅いダム湖の状態に興味があった。

ツンジシはアルミ製の屋根付きの調査船オイコス（生態学の意味）で、ダム湖調査をしていた。私は調査に同行して試料を採取し（図3）、顕微鏡観察し、水質分析をした。栄養塩濃度が極端に少なく、植物プランクトン濃度も少なく、植物プランクトンの死骸が多かった（図4）。日本の湖沼や東京湾内の植物プランクトンの状態と違っていた。

私は大学院生時代、太平洋の海洋調査をし、湖沼の植物プランク

トンと比べると海洋の植物プランクトンは活性が悪いのが多いのに気づいていた。

沿岸から遠い外洋の海中には栄養塩が極端に少なく、日射があ



図3 プランクトン採集

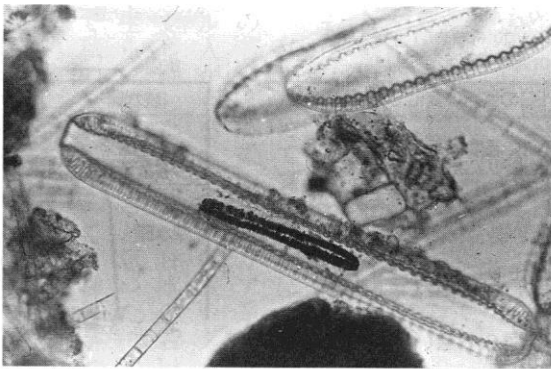


図4 活性が悪い藻

ポルトガル語圏だが、学生とは英語で会話した。日系人とは日本語でも。

ブラジルの大学の学生は、日系人が目立った。ブラジルの総人口の0.7 から 0.8%なのに、親が必死で、教育をしていた。ブラジルでは、小・中・高・大学まで公立の教育機関は、全て無料である。

教育は未来への投資。だから、皆、真剣に勉強していた。

湖沼学では、水深が一番深い、湖心での水の循環、生物現象を研究していた。

るのに植物プランクトンの量も少なく光合成活性も低かった。

ブラジルに着いて2カ月後19

74（昭和49）年10月1日、ツンジシと相談し、ダム湖を調査研究している先生らと縦断調査を企画した。植物プランクトン、動物プランクトン、ベントス（湖底の動物）、水質などを皆と一緒に調べた。

企画した日は乾期から雨期が始まりかけた日だった。それまで晴天であったが前日に雨が降った。

採取した試料を顕微鏡で観察した。それまでのダム湖内のプランクトンは長い乾期の間は流入水中の栄養塩がほとんどない状態であった。ダム湖内の生物群集は栄養塩が少ないので、繁殖できる機会を待っていて、休眠状態の生物が多かった。集水域でやっと雨が降り土壌中の栄養塩が流れだし、ダム湖に入ってきた。この栄養塩を待ち構えていた藻類が一斉に繁殖しだしていた。私は自然界の植物（藻類）や動物はハングリー状態が長く、盛んに繁殖し、成長しているのは一瞬であるのに気づいた。

私は藻類培養と別にダム湖調査をし、その成果を研究棟の入口に

掲示した。3カ月して帰国するとき、ツンジシは生物学科の職員全員に声をかけ、ツンジシの家で盛大なお別れ会をしてくれた。ツンジシは「次に来る時は、もっと長く来い」と言ってくれた。私は藻類培養でなく、若い研究者たちが嬉々として研究しているのを知り、また、ブラジルに来ようと思った。この経験について、2023（令和5）年4月の水道公論（その19）で解説した（図5）。

3 ブラジル人による陸水学を始めた

当時、ブラジルのアマゾン川やブラジルの低湿地での調査研究は、ヨーロッパの研究者が主にし、欧米では英語などで発表していた。ブラジルでブラジル人による陸水研究（湖沼や河川についての研究）をツンジシが1970（昭和45）年から初めて始めた。このグループに入り一緒に研究した最初の外国人研究者が、31歳の私だった。当時ツンジシは35歳だった。

ツンジシは英国で陸水学・湖沼学を勉強してきた。欧州、北米などの山間にある湖沼は、表水層（生産層）と深水層（分解層）があり、表水層では日射で植物プランクトンが繁殖で、その死骸が深水層に沈み、時間をかけて分解が進むと勉強してきた。深水層は気温が低溜まっていて、表水層との間には水温が急に変わる水温躍層があり、表面と底の水は簡単には混ざらなかった（図6）。気温の季節変化が大きい高緯度地方では、夏と冬の気温の変化が大きく、気温が低い

季節に表水層が冷やされ、水の比重が重くなり表面の水は下方へと沈み、下層の水とだんだんと混ざるようになる。この水の動き、水の循環により栄養塩が底から表面にもたらされ、植物プランクトンは繁殖すると教わった。

でも南米大陸の浅いダム湖は水深が浅く、風が吹くと底までの水

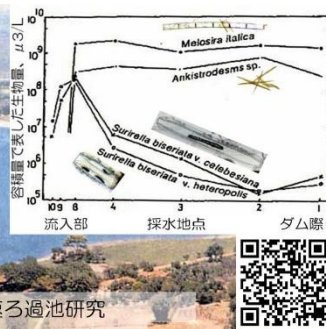


図5 1974年ブラジルへ

1974年 乾期から雨期の始まり
コロンボ プランでブラジルへ



水道公論 2023年4月号 生物屋の緩速ろ過池研究

その19 ブラジルでハングリー状態は普通と気づいた

https://youtu.be/jYV6U_mAAzw

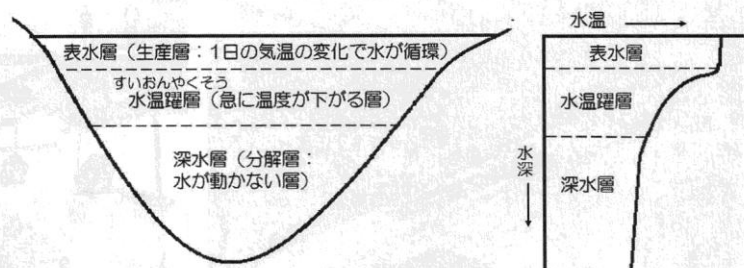


図6 深い湖の夏は成層状態

サンパウロ州に創設する連邦立大。それなら、州の真ん中に建設された。

熱帯のサバンナ地帯にサンカルロス市があった。

平均水深3mと浅いのに、表層、中層、深層と分けて採水していた。

浅いので風で、簡単に混ざってしまうのと思った。



図7 転倒採水器

は容易に循環していた。水温が高いので、生物分解が盛んであった。ツンジシは海洋調査で使っていた日本製鶴見精機の転倒温度計付きの採水器で(図7)、平均水深が3mしかないのに表層、中層、下層の水を採水していた。

私はツンジシに「湖沼学は英国やドイツ、スイスなどの山岳地帯の水深が深い湖沼調査から始まった。ブラジルは水深が浅い湖が多く、水の動きは違う」と説明した。

欧米の湖沼学の本では表面近くは日射が当たり植物プランクトンが繁殖し、光が届かない深い所は分解層と区別していた。高緯度地帯の欧米では一年間の日射と気温の季節変化がはっきりしていた。

湖内だけの水の循環と生物繁殖、その季節変化、水の循環に関連し、栄養塩の循環と生物現象を説明されていた。

私はブラジルに行く前、下久保ダム湖(神流湖)での淡水赤潮現象を研究し(図2、前出)、流入水の影響と湖内での生物現象に注目していた。私は「湖沼やダム湖は周囲の集水域から水が供給され、その影響が大きい」と説明した。「大陸のブラジルの浅いダム湖では、風による水の循環の影響が大きく、表層、下層と区別できない。集水域からの流入水の栄養塩の影響が大きく、熱帯大陸での浅い湖沼、ダム湖の特徴を示す必要がある」とツンジシを説得した。

ツンジシに「ブラジルという大陸では、欧米の山岳地域での湖沼学でなく、熱帯での湖沼、ダム湖の教科書を自分らでつくる必要がある」と強調した。

私は3カ月と短い滞在であったが、ブラジルの若い研究者たちに刺激を与えることができたと思っている。帰国するとき「次に来る時はもっと長く来てくれ」と言われ、ツンジシの自宅で盛大なお別

高級ホテルも、1階は、水没。



図8 お別れパーティー

れパーティーをしてくれた(図8)。

ツンジシは英国イングランド北部の湖沼地帯にある陸水研究所では、ウィンダーメア湖のプランクトン調査を10年以上も続けていたのを学んできていた。ツンジシは自分もロボ湖の調査を陸水研究所と同じ様に長く続けると張り切っていた。ツンジシは私が帰国した後も長くロボ湖の調査を続け、英国の陸水研究所の雑誌に発表した(図9)。

私は帰国して日本の学会でブラジルではツンジシ夫妻が若い研究

者を指導して熱帯の陸水研究が始まりだしたと宣伝をした。

私が初めてブラジルに行き31歳の若者と35歳のイタリア系ブラジル人がサバンナ地帯の浅いダム湖で奮闘した状況は、日本の若い学生らに刺激になると思った。そこで私の経験について生物科学という雑誌に「日伯陸水共同研究始」と題して投稿した(図10)。

The ecology of UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa Reservoir) and its watershed, São Paulo, Brazil
J. G. Tundisi and T. M. Tundisi 2013
Freshwater Reviews (2013) 6, pp. 75-91
© Freshwater Biological Association 2013

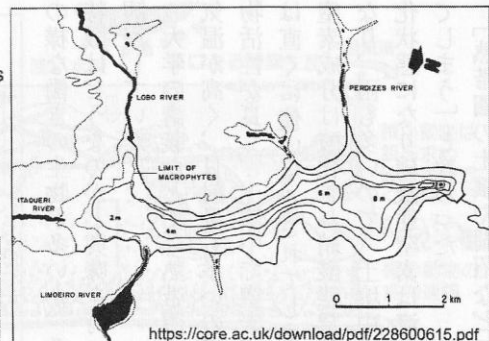


図9 ロボ湖調査研究報告

長さ7kmの浅いダム湖を、大学の研究用に自由に使ってと、提供されていた。

若いスタッフ、学生、テクニシャン(技術助手)と一緒に調査をし、助言をした。

ブラジル人による熱帯大陸の湖沼ダム湖研究の 始まりの時、32歳の若者が助言して格闘した。

中本は5月生まれ。
32歳に修正。

暗中模索：日伯陸水共同研究事始
中本信忠1986 生物科学38(3)140-148.

①Tundisiとの出会い ②サンパウロ州
立大とサンカルロス国立大 ③藻類培養 <https://dl.ndl.go.jp/pid/11201484/1/16>
による陸水学の第一歩 ④ブラジル人
1974年のブラジル



図10 ブラジルで暗中模索

この私の滞在はブラジル科学アカデミーと日本学術振興会との学術交流へと発展した。ツンジシは、ブラジルからの最初の研究者として1979（昭和54）年7月に初来日した。日本の受け入れ研究者は信州大学の助手であった。ツンジシに来日は奈良女子大で開催された日本陸水学会に合わせてもらい、日本の多数の陸水研究者と交流してもらった。

私は、ブラジルとの交流の窓口が地方大学の信州大学助手では、日本の文部省などは動かないと思った。そこで私は名古屋大学水

3 生物経済学、生態系が目ざれていた

私は都立大の宝月先生から「自然界の生物現象は生物経済学という観点で調査すると良く分かる」と教わっていた。私の大学生時代は「生態系生態学・生物経済学」が注目され、生物群集の量的把握が注目されていた（図12）。「生態



図11 湖沼調査法

圏科学研究所の西条八束教授に頼んで、日本の窓口になってもらった。西条先生は名古屋大学に転出する前は、都立大の助手をしていた。長野県の本崎湖で物質循環を研究し、「湖沼に於ける物質代謝の化学的研究」で学位を取り、その研究を元に『湖沼調査法』（図11）を1957（昭和32）年に出版した人だった。



図12 食物連鎖ピラミッド

系での物質循環」、「光合成による炭水化物の生産と呼吸による消費・分解」、「栄養塩類の吸収と分解による無機化」、「動物による捕食」、「微生物による分解」が研究室での話題の中心であった（図13）。都立大の生態学研究室では、自然現象を理解するために生物群集を機能グループという観点で整理して研究をしていた。

ブラジルでも私は生物がどのような場所でも、どの様な働きをしているかについて関心を持って見ていた。草木は日本で見られるのとは違い名前を調べるのが大変であった。私は新しい環境に行くとき、ど

の様な働きの生物が多いか、その特徴はどうかと興味を持って観察していた。

大学の講義などで「熱帯圏では気温が高く、日射量も多いので生物活性が良く、土壌中で窒素成分は直ぐに使い尽くされてしまう。窒素成分は酸化され硝酸態窒素になり、雨も多いので、土壌中の酸化状態になり硝酸態窒素は流されてしまう」と教わった。

「熱帯圏の土壌や湖沼などでの

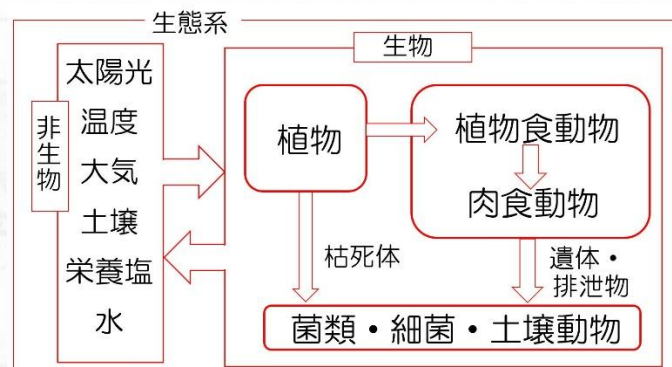


図13 生物と環境の関係

物質循環を研究するモデルとして湖沼。生物経済学という視点が必要だった。

生態系に目が向けられだし、生態学に注目されだした。

生物と環境の関係。生物学だけでなく、土壌学、水質分析、地質、地形。水の循環と生物の関係、広い分野の人との連携が必要だった。

熱帯圏は、生物活性が良い地域。生物利用可能の栄養塩は生物が使い尽くされた地域。窒素固定微生物を共生する生物。熱帯圏では、マメ科直物が多かった。

熱帯圏の植物、動物は、ハングリー状態は普通と気づいた。

窒素成分は少なくなり、その結果、空気中の窒素を固定できる窒素固定菌を共生できるマメ科植物が多くなる」と教わっていた。

私は海洋調査で太平洋の島国を訪問したことがあり、そこではマメ科植物が多いのを知っていた。ブラジルでも身近にマメ科植物が多く生物活性が良い熱帯圏だと実感した。私は自然と日本の環境、地球の環境を比べるようになっていった。

普通、野外生物を調査している人は調査対象生物の名前(種名)を調べる事から始める。しかし日本と違い海外では、ほとんど全ての生物の名前がわからなかった。

ツンジシの学生で植物プランクトンを調べていた日系学生の日野幸三さんが、ブラジルの植物プランクトンはヨーロッパの図鑑で調べると大きさや形が少し違い名前を同定するのは大変と言っていた。

私は都立大で生物はエコタイプがあるというのを教わっていた。同じ種の生物でも環境に適応し、大きさや形態が異なる事があるのを知っていた。

日野幸三さんに「種名を決める

事ができなくても、何の仲間の生物かという事で、研究は進められる」と助言した事があった。

湖沼の植物プランクトン研究は、英国やドイツなどの高緯度地方で盛んであった。欧米の教科書もその地域での現象、教科書にでている生物が記載されていた。私たちは欧米の植物プランクトン図鑑を参考に種名を決めていた。

湖沼は干上がる事がある。植物プランクトンは休眠状態になり、乾燥に耐え、雨が降ると活動し始めた。また休眠状態の植物プランクトンは風で舞い上がり、ホコリと一緒に飛散した。植物プランクトンは世界共通で固有種といわれても、その環境に適応したエコタイプではないかと思われた。私は固有種というのを余り重要視していなかった。それは、生物経済学という視点で生態系を観察しているからかも知れない。

4 ブラジルでのダム湖生態系研究は生物浄化法のルール

私は上田市で、染屋浄水場で繁殖する藻はろ過閉塞をさせない藻

であると教わり、ろ過池で繁殖する藻の役割研究を1993(昭和54)年から行った。緩速ろ過池は上から下への流れがあり、砂面では糸状になれる藻類が繁殖する場所として適していることに気づいた(図14、15)。浄水場の原水は河川表流水で、河床の礫面に付着した付着藻類がろ過池に入ってきて、ろ過池の砂面に蓄積しているだけであった(図16)。ろ過池の砂面上の藻を注意深く顕微鏡で観察すると糸状になれる珪藻メロシラは、細胞内に原形質が一杯で、活性が良かった。

河川という水が横に流れる環境から緩速ろ過池に原水が入ると、水が上から下へ流れる環境変化する新しい環境になる。その新しい環境に適した生物が繁殖していた(図17)。

1974(昭和49)年にブラジルの浅いダム湖を調査し、ダム湖流入部は新しい適した生物群集に遷移する場所と気づいた。湖水中の藻類を調べ、付着藻類のスリレラ細胞は活性が悪い状態が多かった(図18)。河川から湖へと急に流速が遅くなる環境であった。その

ダム湖流入部では、生物群集の入れ替え、栄枯盛衰があった。

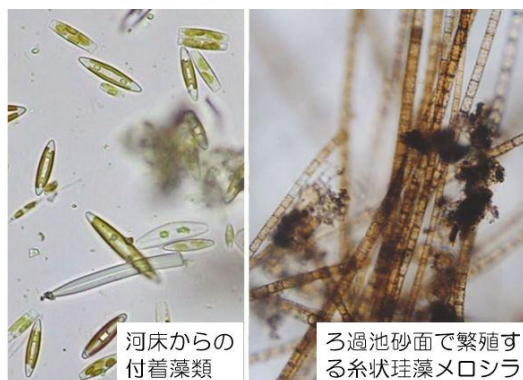


図15 川とろ過池の藻の違い

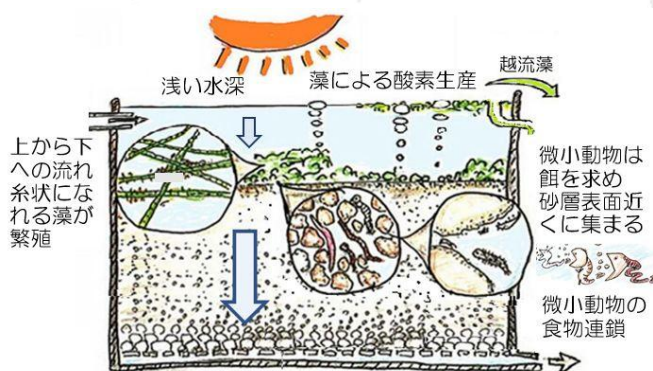


図14 ろ過池での生物の繁殖

緩速ろ過池でも、流入水は河川水。ろ過池では、急に流れが変わる。新しい環境。そこで、新しい生物群集が繁殖する場だった。

糸状になる珪藻だけが活性が良い。単細胞の藻は、活性が悪く、死骸も多かった。

糸状になる珪藻だけが増えていた。

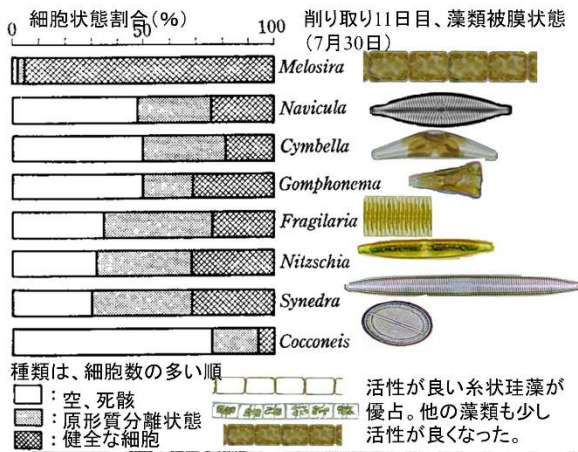


図17 糸状藻だけが活性が良い

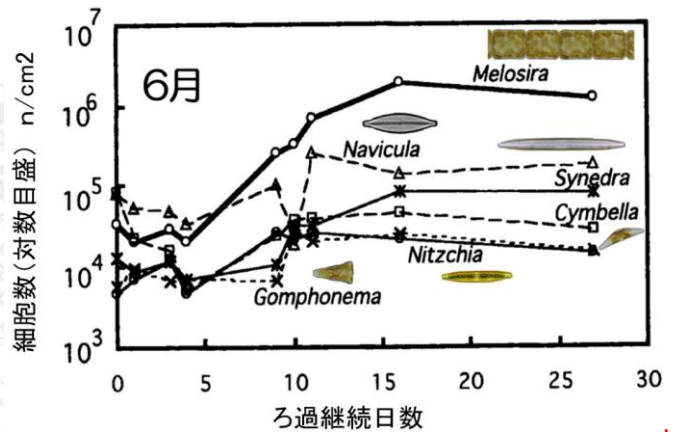


図16 ろ過池で糸状の藻が繁殖

大きな付着珪藻が流入部に多く、他の藻は、死骸の割合が多い。

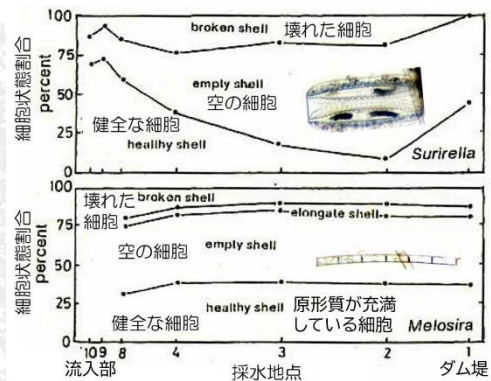


図18 活性が悪い藻が多い

境界で新しい環境に適した生物群集が繁殖していた。境界では栄枯盛衰、遷移現象があった。

環境が変わる境界で新しい環境に適した生物群集が活躍し始めていた。環境が変わればその環境に適した生物が繁殖するのは一般的だった(図19)。

環境が変わる場所で、新しい生物群集が活躍し始める。緩速ろ過池での砂面という境界で新しい生物群集が活躍する。生物群集の遷移現象の場所であった。

緩速ろ過池 理Slow Sand Filtrationという言葉では、砂面で新しい生物群集が活躍し、生物群

集の食物連鎖が浄化の鍵とはイメージできなかった。そこで、緩速ろ過でなく生物浄化法と言いつつ必要があった。この発想はブラジルでの調査と関係があった(図20)。

ダム湖は水平的な水の流れたが、緩速ろ過池は上から下への流れである。環境が変わる境界に新しい生物群集が活躍していた。その境界では生産と分解が行われ、生物活性が良い場所であった。生物浄化法という発想の原点であった。

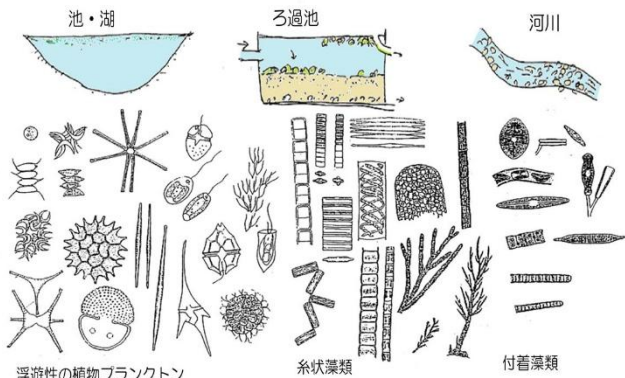


図19 水の流れと藻類

私は日本に帰国し、ブラジルに若い陸水学者たちが浅いダム湖を対象に研究していたのを知り、日本の学会などで紹介した。

その時、長野県上田市で菅平ダム湖が完成したら上田市の水道水が不味くなり、上田市では大問題になっていた(図21)。私はダム湖の富栄養化の研究をしているという事で、信州大学繊維学部で水質汚濁問題を研究していた桜井善雄さんから声がかかり、帰国した翌年1975(昭和50)年10月に助

5 信州大へ就職し緩速ろ過池研究を始めた

Oecologia australis

Oecologia Australis Tundisi夫妻の貯水池
15(3): 709-713, Setembro 2011 研究50周年記念号

IDEA OF ECOLOGICAL PURIFICATION SYSTEM FOR DRINKING WATER COMES FROM BROA RESERVOIR

Nobutada Nakamoto

生物浄化法の発想はプロア貯水池から生まれた。
中本信忠

<https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/8160/6617>

Australisはラテン語で「南の」の意味

図20 生物浄化法とプロア湖

環境が変化する場所で、生物群集の栄枯盛衰があるのは、ダム湖生態系と緩速ろ過池と似ていた。

環境の違いで、繁殖する生物が異なっていた。

上田市の水道水が不味くなった原因は、ダム湖ができたからでなく、上田市のろ過池で繁殖する藻を殺していたからだ。



図21 上田市の浄水場

浄化処理には、生物の視点が必要だった。



図22 生物試験の手引き

池で繁殖する藻対策で殺藻剤も使っていた。

都市河川や富栄養化した湖沼では、生物は死ぬと分解するが水中に溶けている酸素が十分あるなら微生物や微小動物が活躍して分解が完全に進む。しかし酸素供給が不足すると微生物や微小動物が活躍できず水が腐り、水が臭くなるという問題が生じるのを知っていた。

私は自然界での生物群集の役割について大学の講義や上田市での市民向けの講演などをしてきた。この話を聞いた上田市水道局の染屋浄水場の場長が、臭い水道水に関して私のところに相談に来た。

私は「生物群集の働きによる浄化が緩速ろ過処理なので、殺藻剤は使ってはいけな」と助言をした。場長は早速、殺藻剤を使うのを止めたら、ろ過池で藻が繁殖し



図23 おいしい水の探求

だしたが水道水がおいしくなった。この事を知った私は応用学部の学生研究のテーマとして良いと思った。そこで卒業研究として1984 (昭和59) 年4月から染屋浄水場での藻の役割研究を始めた。その翌年1985 (昭和60) 年10月に小島さんはNHKブックスで「おいしい水の探求」を出版した(図23)。この本の58頁に「水道水の味番付」という記述がある。そこには特級水は「湧水や、良質の地下水を消毒しただけの水道水」、二番目には「おいしい水は「緩速ろ過法」という自然の浄化作用によって生成した水」、三番目は「薬品力によって浄化する急速ろ過法による水」とある。なお、この本にブラジルのダム湖の話もある。小島さんは私がブラジルで知り合った日系の日野さんの紹介でブラジルに出かけ、その様子を書いてくれた。

水道公論 (第61巻第10号)

(83)

200 年前、ロンドンでシンプソンが、英国中を「Quest for Pure Water 純水の探求」を探し回った。この言葉を小島さんはイメージし「おいしい水の探求」という本を出版したと思った。

水質と生物の関係が話題になった。

1974年に初めてブラジルに行きツンジシに出会った。信大に就職したので76年に再度短期に行った。79年にツンジシが初来日し、名古屋大学の西條先生を紹介した。その後、1983年から1988年のブラジルの湖沼群の国際共同調査が行われた。その時は、まだ、緩速ろ過池の調査をしていなかった。

1994年から染屋の緩速ろ過池の藻の役割研究を始めた。

1988年の国際会議本を手に入れた。

私は学会で緩速ろ過池での藻の役割について発表していたら、小島さんは「生物現象は水源の違いや季節で異なる。いろいろな浄水場を見学しなさい」と助言してくれました。また小島さんが苦勞して購入した海外の水道に係る古い専門書も貸してくれた。

6 凝集剤を使わない上向流粗ろ過の開発

私はツンジシが来日した際、湖沼の物質循環の研究で有名であった西條先生を紹介した。日本とブラジルとの共同研究をしようとする事になった。日伯陸水共同研究を1983（昭和58）年から1988（昭和63）年まで、6年間実施した（図24）。

この6年間の日伯陸水共同研究で何度もブラジルにでかけたが、私はダム湖生態系研究、ブラジルの水質と日本の水質の違いなどについて関心を持って研究をした。

私が染屋浄水場での藻の役割研究を始めたのは1984（昭和59）年4月であった。

私が最初に関わったサンパウロ大工学部衛生工学科では緩速ろ過

日伯陸水共同研究 1983-1988 西條・Tundisi プロジェクト
リオ・ドッセル湖沼群、パンタナル湿原研究

日本側
西條八束
（名古屋大総括）
生嶋功
（千葉大、水草）
須永哲雄
（香川大、魚）
三田村緒佐武
（大阪教育大、水質）
福原晴夫
（新潟大、ベントス）
中本信忠
（信州大、植物プランクトン）



図24 日伯陸水共同研究

緩速ろ過に関し国内、海外の文献を調べ初めての国際緩速ろ過会議が1988（昭和63）年にロンドンで開かれ、論文集が出版されていた（図25）。この論文集を手に入れ、読んだところ私が最初に招聘してくれたサンパウロ大の衛生工学科のベルナルド・ジュニョ・D. Bernardosが濁り水対策で上向流粗ろ過の実験結果を報告していた。

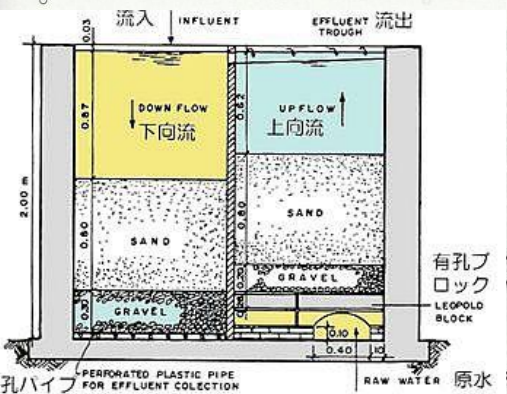


図26 下降と上向の比較実験

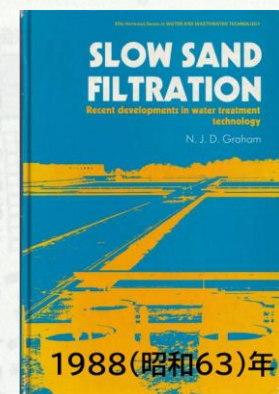


図25 国際緩速ろ過会議論文集

ベルナルドは、緩速ろ過処理は原水を上から下へ流すが、逆に下から上に流す実験（図26）を修士の学生R. Costaが行い1980（昭和55）年に修士論文『Experimental Comparison between Downflow Up-flow Slow Sand Filters』（原文

はポルトガル語）を発表した。ベルナルドはその後、上向流粗ろ過を熱心に行い1988（昭和63）年にロンドンで開催された国際緩速ろ過会議で発表した（図27）。私は、ベルナルドは大学で上下水道処理を教えていて、世界中で普通に使われている下水処理の散水ろ床（Trickling Filter）にヒントを得たのかもしれないと思った（図28）。

後で知ったが、最初にサンカルロス連邦立大でダム湖調査をした時、動物プランクトンを調べてくれたオデテ・デ・ロチャがベルナルドの実験を手伝っていた（図

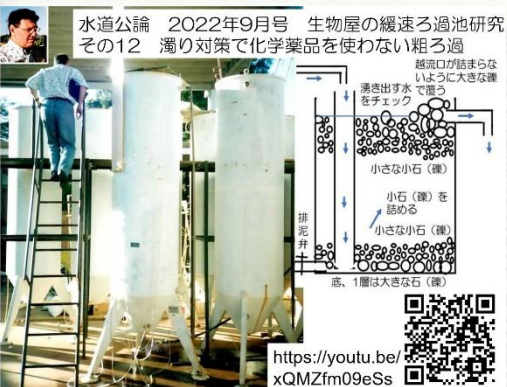


図27 上向粗ろ過実験塔

サンカルロスに何度も行っていたが、当時はダム湖、熱帯の湖沼を研究していたので、緩速ろ過の粗ろ過には関心が無かったので、ベルナルドが粗ろ過の研究をしていたのに気づかなかった。と推測した。

私が最初に行ったサンパウロ大サンカルロス工学衛生工学科のベルナルドが粗ろ過の研究をしていた。

衛生工学科の教授ベルナルドは、散水ろ床の礫間浄化の仕組みを教えていて、薬品を使わない礫間浄化の仕組みは、緩速ろ過の濁り対策にも使えると気づいたのかも。散水ろ床は、世界中で使われている。

礫間浄化は、層流でも乱流でもない。

29。オデテは後にロンドン大に留学し、テムズ水道の貯水池の動物プランクトンを調べ、学位を取得した。
ベルナルドは実験を始めた当初は多層の粗ろ過と多段の粗ろ過を比べていたが、回分処理の効率を考え（図30）、多段式の上向流粗ろ過（図31）を1993（平成5）年に出版した彼の教科書で勧めていた（図32）。

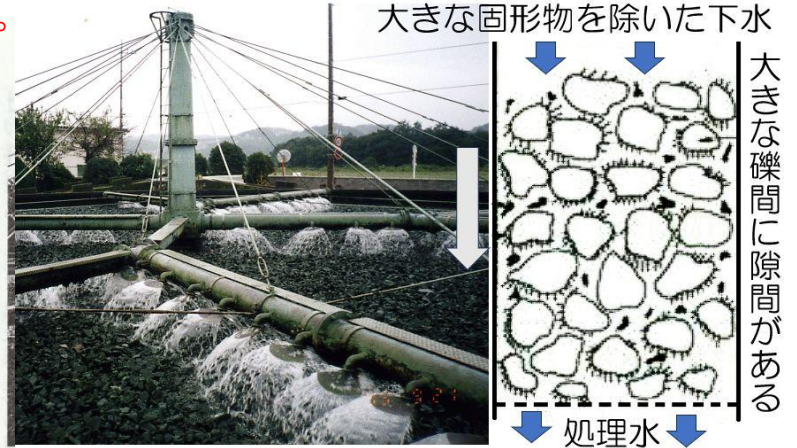


図28 礫槽浄化の散水ろ床

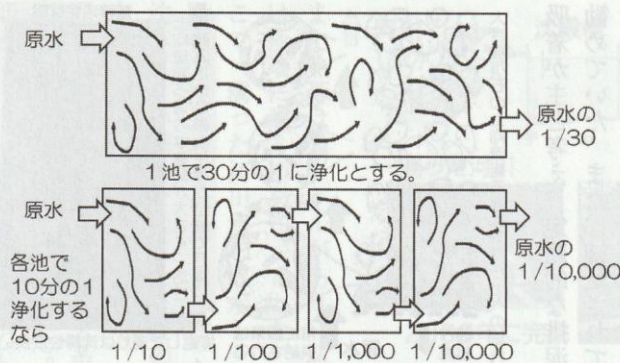


図30 単槽と多槽の比較

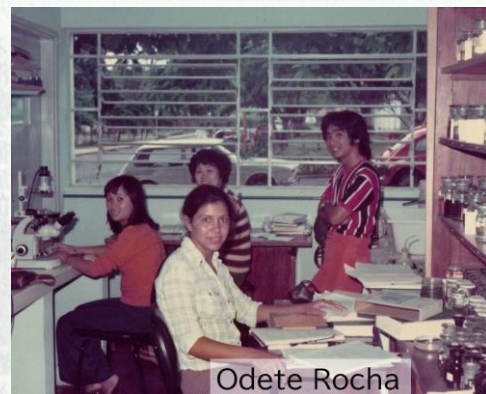


図29 動物プランクトン屋のオデテ



図32 水処理の教科書



濁り水対策の前処理：礫の大きさの異なる3段の上向流礫ろ過

図31 多段式上向流粗ろ過

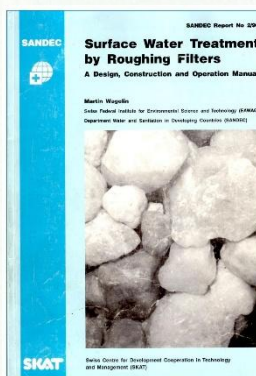


図33 粗ろ過指針

<https://www.ircwash.org/sites/default/files/Wegelin-1996-Surface.pdf>



Martin Wegelin
Swiss Federal Institute
of Aquatic Science and
Technology

7 粗ろ過実験をしたら生物群集の活躍だった
1988（昭和63）年の国際緩速ろ過会議ではベルナルドが上向流粗ろ過について発表し、スイスのウェゲリン Martin Wegelin が過去の粗ろ過について発表した。この会議で凝集剤を使わない濁り対策での粗ろ過が注目され国際共同研究が行われ、その成果を1996（平成8）年にスイスから粗ろ過指針として出版された（図33）。私は出版前に予約して手にいれ、上田市で用水路の水を使い上向流粗ろ過実験をした。またNPO地域水道支援センターの仲間が、新潟県見附市でパイロット試験を

ベルナルドの実験を手伝ったのが、オデテだった。

少し残念なのは、ベルナルドもウェゲリンも、工学部出身、生物群集の活躍が重要という発想はない。生物野のセンスがある人が、応用の分野でもっと活躍する必要があるそう。

サモアでの実験装置からの排泥した泥も沈降性が良かった。

上向流粗ろ過のパイロット試験装置から排泥した泥は、沈降性が良かった。活性汚泥とそっくりだった。



図34 排泥物は沈降性が良い

した。粗ろ過槽から排泥した汚泥は、下水処理の活性汚泥と似ていて、沈降性が良く、生物群集の塊と糞塊であることを顕微鏡観察で確かめた(図34)。上向流粗ろ過は礫が大きく、礫間に隙間があり、下から上までの全層で生物群集が活躍していると推測された(図35)。緩速ろ過槽では砂が細かく水がゆっくりと流れ、大部分の生物群集は餌がくる砂層表面近くで活躍していた(図36)。緩速ろ過槽は砂が細かく、水の流れは層流であった。粗ろ過は礫が大きく隙間があるので、水の流れは乱流と考える。粗ろ過は全層で生物群集が活躍していると理解できた(図37)。しかし、バルナルドやウエグリンは、粗ろ過は礫表面への濁りの

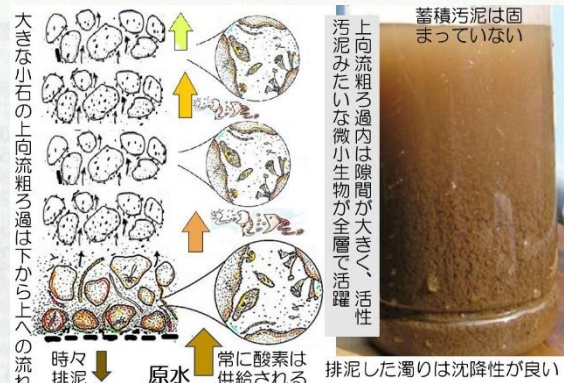


図35 全槽で生物が活躍

緩速ろ過の砂の隙間が小さい。水の流れは層流。粗ろ過は隙間が大きいので、乱流だ。

吸着が主と考え、定期的な排泥を勧めていた。また、補足されている濁りを徹底的に排出するために繰り返し排泥するのを勧めていた。しかし、私は上向流粗ろ過は礫表面での吸着より生物群集の活躍による濁りの捕捉と分解が大きいと考えている。また下から濁りがある水が入ると同時に酸素供給があり、まるで散水ろ床では礫と礫の間に隙間があり、酸素不足にならず、浄化機能は礫表面で発達する生物膜を除かないで長く浄化機能が続く仕組みに似ていた(図28、前出)。

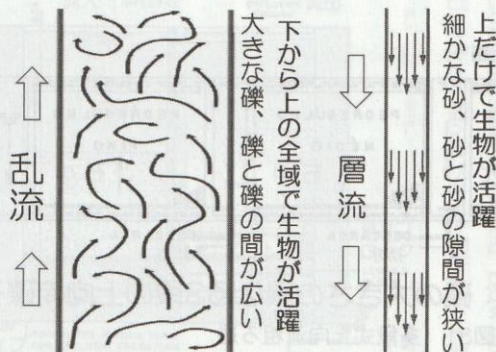


図37 乱流と層流での生物群集の活躍の違い

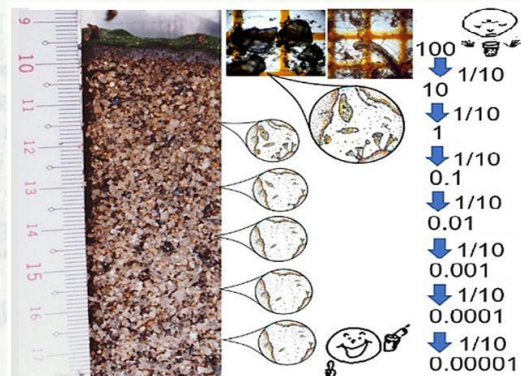


図36 緩速ろ過槽での生物群集

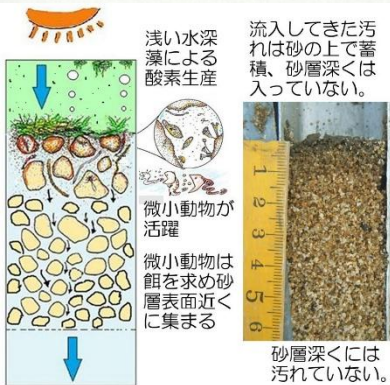


図38 浅い水深が良い

8 濁り水対策で上向流粗ろ過が良い

濁り水対策の上向流粗ろ過は生物群集による濁りの捕捉と分解で上向流粗ろ過は礫が大きく隙間が大きいので目詰まりはしないのに気づいた。

ろ過池も水深を浅くすると生物活性が良くなった(図38)。またろ過速度は速い方が、夜中に溶存酸素濃度が極端に少なくならないので生物群集に良い環境を保っていた。

緩速ろ過処理では生物群集が安心して活躍できるようにするのが鍵であった。緩速ろ過処理Slow Sand Filtrationを生物浄化法 Ecological Purification Systemと

砂が細かいので、水の流れが層流で、砂が動かないので、生物が活躍しやすい。餌がくる、砂層表面と砂層上部で生物群集が活躍する。

薬品を使わない上向流粗ろ過は、誰でも、簡単に維持管理でき、濁り除去、分解の効率が良い。私は、盛んに勧めてきた。でも、日本の指針に解説がないので、日本では、広まりにくい。

粗ろ過は、礫間で生物群集が活躍し、濁りの捕捉と分解をしていた。

言い直すと緩速ろ過処理は生物群集による浄化と納得する。

9 維持管理が楽な上向流粗ろ過を勧める

私はブラジルで開発された凝集剤を使わない濁り水対策を1996（平成8）年の粗ろ過指針（図33、前出）を手に入れ、早速、信州大で実験をし、NPO地域水道支援センターの仲間が新潟県見附市でパイロット試験もした。この仕組みは礫槽の礫面と礫間で活躍する生物群集の活躍で、原水中の濁りを除去、分解までする素晴らしい技術だった。維持管理は底からのバルブ操作だけだった。

何とか凝集剤を使わない濁り水対策を日本でも勧めたいと思っていたところ、日本設計の岡田有弘さんがスリランカの国立病院の付属施設の浄化施設建設の関係で信州大学の研究室に相談に来た。私は早速、最新技術の上向流粗ろ過を勧めた。その結果、2000（平成12）年に1日140トンの施設が完成した（図39）。

熱帯の河川は、細かな濁りが多く、沈殿しにくいを知っていた。

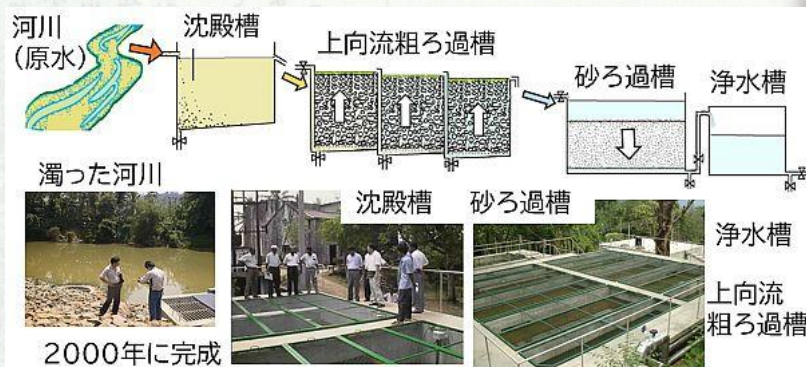


図39 スリランカに上向流粗ろ過を勧めた

また熱帯はスコールがあり、河川は極端に濁るのを知っていた。そこで、濁った河川水を取水し、沈殿槽で沈みやすい濁りを沈めた。沈みにくい細かな濁りを3段の上向流粗ろ過で除く事を勧めた。排水などの操作があるので、2系列にした。砂ろ過槽も2槽にした。10年後に、この施設がどうなっている。

粗ろ過は、山の渓流での浄化と似ている。

るかを確かめに行ったところ、問題なく稼働していた。上田市で上向流粗ろ過の実験をすると粗ろ過槽では生物群集の食物連鎖系が機能していると分かった。



図40 バングラデッシュで上向流粗ろ過を勧めた



2002年 バングラデッシュの砒素汚染対策で苦労していたアジア砒素ネットワークの人達に、生物群集の働きによる緩速ろ過の仕組みを解説



図41 技術解説本

したところ、日本では使われないような農業をバングラデッシュで使われている。そこで、農業分解を考えた浄化装置を考えてと頼まれた。私は動物の糞塊の中での発酵分解で難分解性物質が分解されると考えていた。藻を繁殖させ、動物に食べさせて分解をするのを繰り返すのが良いと考えた。そこで上向流粗ろ過を4回繰り返す装置を勧め、2002（平成14）年に完成させるのに協力した（図40）。私はJICA研修で発展途上国の人たちに上向粗ろ過処理を勧めている。この他に、サモア、フィジー、ナイジェリア、中国、パキスタンでの濁り水対策での浄化施設を建設するのにも協力してきた。日本の指針には上向粗ろ過については記載がないが、私の解説本を参考にしてもらいたい（図41）。

『おいしい水の作り方-2』は、信州大繊維学部同窓会（千曲会）から出版してもらった。160 ページ、全ページカラー。1500 円＋税＋郵送料。宣伝が上手くないので、本誌「水道公論」で技術解説の連載を続けてきた。