

生物屋の緩速ろ過池研究

その21 糸状珪藻メロシラの連続培養系の探求

信州大学名誉教授 中本 信忠

1 糸状珪藻メロシラの連続培養系に驚いた

私は染屋浄水場で、藻が繁殖しはじめるころ過池の調子が良いと教わって、緩速ろ過池の藻の役割研究をはじめたのが1985（昭和60）年である。

緩速ろ過池は上から下への流れがある。砂層面で糸状になる珪藻が真綿状に成長し光合成により生産された気泡の浮力で水面に浮き上がる。ろ過池は糸状になる珪藻メロシラの連続培養系みただった（図1、2）。

そこで浮いてくる藻を全部集めて収穫すると、その量は莫大な量であった（図3、4）。珪藻は魚介

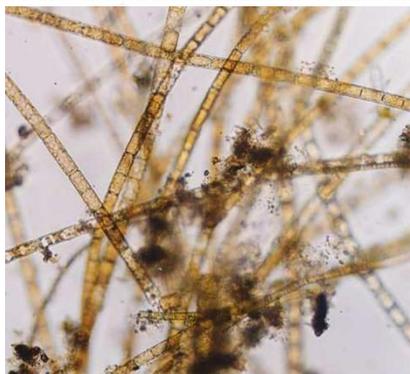


図1 糸状珪藻メロシラ



図3 浮上藻を全て集める



図2 浮上藻が越流



図4 浮上藻を捕集

類の餌としても最適と気づいた。捕集した藻はすぐに腐る。そこで流通させるには乾燥させる必要がある。そこで網戸で天日乾燥させたとこ、簡単に乾燥できた（図5）。

2 自然界ではどこに糸状珪藻が繁殖しているかを探る

自然界では糸状になる珪藻がどこで繁殖しているかを調べた。千曲川の河原で伏流水が湧き出している浅い水面では糸状になる珪藻が繁殖していた（図6）。湧水場所から本流へ流れ出る場所の流れは

実験室で植物プランクトンを培養していた生物屋が、野外の緩速ろ過池で糸状珪藻だけが、優占的に盛んに増殖しているのに感動した。

水道公論、2022年4月号：66-74
生物屋の緩速ろ過池研究
その7
藻による酸素生産と生物群集による酸素消費



<https://youtu.be/zFE6-K3Rj24>

応用生物を志向している学科の学生に、緩速ろ過池を見学し、自然界で繁殖する藻が、水質浄化に役立っていることを実感してもらった。

収穫した藻を乾燥させないと流通に回らない。



図5 浮上藻を網戸で乾燥



図6 千曲川の河原で糸状珪藻が繁殖

早かった。ここでも糸状珪藻がびっしりと繁殖していた(図7)。千曲川の河原の湧水は冬でも凍結

自然界では、どこのどこの糸状珪藻が繁殖しているのかを探った。

せず、その場所では糸状珪藻が盛んに繁殖していた(図8)。濁りが少なく水深が浅く流れがあっても糸状珪藻が繁殖していた。

3 軽井沢の湧水池では糸状珪藻が繁殖

浅間山の裾野で海拔1025mにある中軽井沢の里池には糸状珪



図7 流れあっても糸状珪藻は繁殖



図8 冬でも河原の湧水で糸状珪藻が繁殖

藻が一年中、繁殖している(図9)。水深が浅く、底で繁殖した糸状珪藻は光合成で生じた気泡の浮力で水面に浮き上がり、浮上した藻は池から流出していた。大学に勤めていた時は学生に「自然界では糸状珪藻の繁殖は濁りが無い湧水池では繁殖しやすい」ことを実感し



図9 軽井沢の湧水池で糸状珪藻が繁殖



図10 浮上藻を食べるカモ

てもらうために良く案内した。今回、本連載の原稿の構想を練るため4月9日に見に行った。カモが浮上している珪藻を食べていた(図10)。落葉樹の葉は展開していなかったが水温は10度であった。

4 糸状珪藻培養装置の工夫

上から下への流れがある緩速ろ過池を参考に野外で灌漑用水路の水を原水とし、連続培養の実験を計画した。大量に水が必要なので水利権を持つている農家の協力を考えた。水田の一部を借りて実験をしようとしたが、農家の人から「灌漑用水には農薬の影響があり、私達の実験に適してない」と助言された。

この農家の畑の隣接地には漁業組合の養魚池があった。養魚池用の水は千曲川から直接に取水し途中に水田の影響が無い水路から分水していた。漁業組合にお願いし養魚場への水路の水を原水とポンプで揚水して培養実験をした。水路に玉ネギ収穫ネット(網目約2mm)で濁りを予め除いてからポンプで揚水し、多段の上向流粗ろ過で濁り対策をした(図11)。濁りを

糸状珪藻は、魚介類の飼料として最高だ。大量培養を試みた。

養魚場への導水路で、まず、網で濁りを除く。多段の上向粗ろ過で、徹底的に濁りを除いてから、培養槽へ。

除いた水を隣接する畑を借りて、コンテナーを利用して糸状珪藻の培養系をつくった(図12)。水深10センチで上から下への流速は1時間に20センチ(1日4・8回)に調整した(図13)。底に園芸用スノコを敷き、その上に網目2ミリのネットを敷き、浮上してきた藻を茶漉し(網目約2ミ)で収穫した(図14)。また糸状珪藻が繁殖する湧水池を参考に上向流の培養槽を作成した(図15)。湧水池では浮上する藻

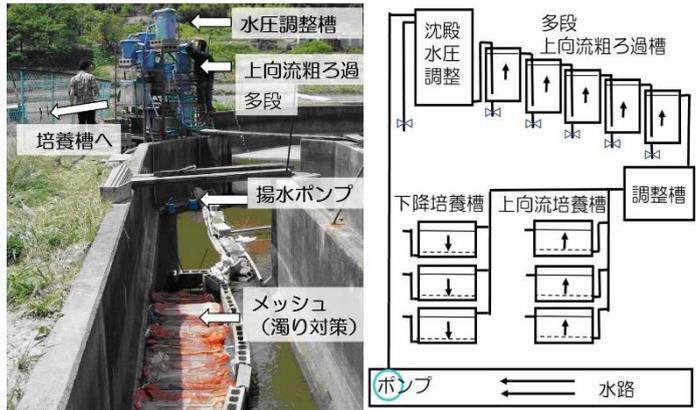


図11 用水路の水から濁りを除く

は自然と流出するので自動的に捕集する仕組みを考えた(図16)。糸状珪藻は、流れに沿って直線的に伸び、越流口から流出し、自動的に

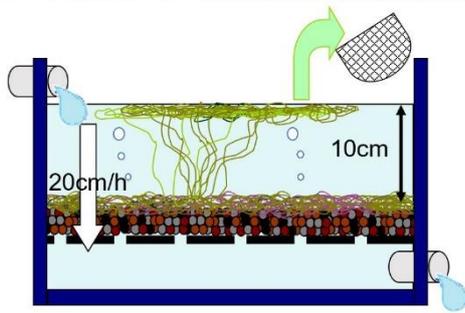


図13 上から下へのろ過池モデルの培養槽



図12 緩速ろ過池モデルの培養槽

上から下への流れの緩速ろ過池モデルでは、浮上藻を茶漉しで収穫。

に金網籠(網目約2ミ)で捕集した(図17)。



図15 湧水モデルの培養槽



図14 浮上藻を茶漉しで採取



図17 湧水モデルでの糸状珪藻の繁殖状態

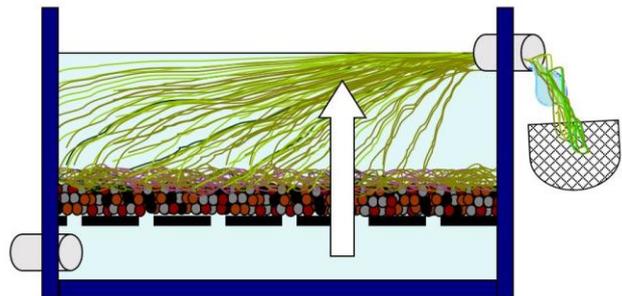


図16 下から上への湧水モデル

下から上への湧水池モデルでは、越流する藻を自動的に捕集が可能だった。繁殖した糸状珪藻は流れに沿って長く伸びていた。

ろ過池モデルの藻は、段々と、生きが悪くなっていた。

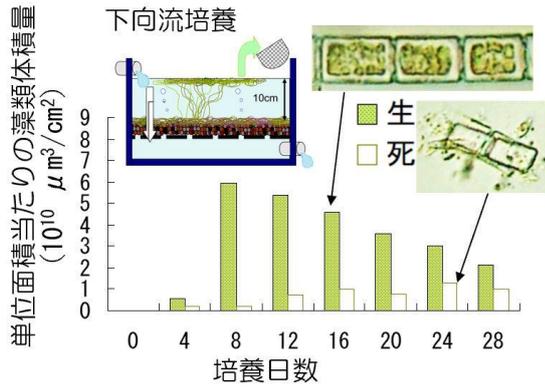


図18 下降流では活性が悪い細胞が目立つ

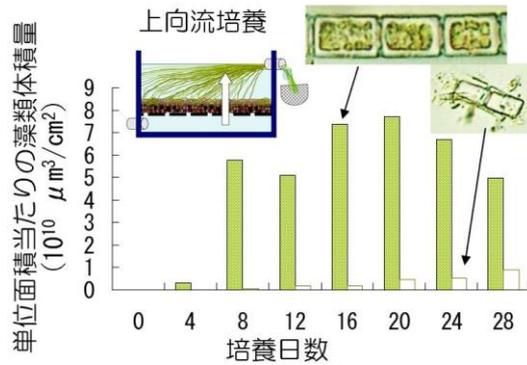


図19 上向流では活性が良い細胞が多い

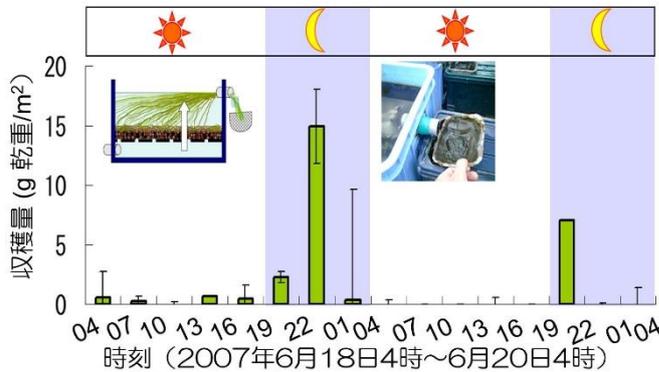


図20 上向流では夜間に藻が流出

5 浮上珪藻の活性の違い
 下降流と上向流の培養系では浮上している糸状珪藻の状態が明らかに違っていった。そこで顕微鏡で藻の細胞状態を観察したところ下降流培養では活性の悪い細胞が目立ったが(図18)、上向流培養では活性が良い細胞がほとんどであった(図19)。
 下降流ではろ過池と同様に糸状珪藻は底の砂面で繁殖しだし立体的に繁殖する。砂面上の藻は繁殖した藻の陰になり活性が悪くなったと思われる。

6 細胞分裂は夜間にしていった
 湧水池を真似た上向流の培養系では浮上している糸状珪藻の活性が見た目でも良かった(図17、前出)。そこで培養系から流出する藻を数時間毎に捕集網から取り出し、日変化を測定した。その結果、流

出する藻の量は、日中は少なく夜間は多かった(図20)。捕集量の最大値は6月18日22時から3時間で乾燥重量にして1平方メートルあたり14.9gもあった。何度も実験をして最大は1日では1平方メートルあたり約30g(乾燥重量)にもなった。
 また細胞の状態を顕微鏡で観察すると夜間は細胞分裂している細胞が多く、日中は細胞分裂していない状態(間期)の細胞であった(図21)。

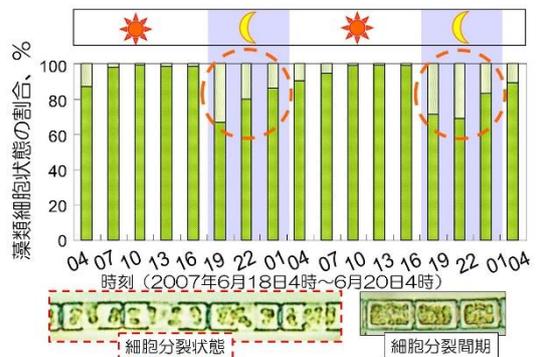


図21 細胞分裂細胞は夜間に多い

7 酸素生産量の日変化

上向流の培養系の流入水中と流出水中の溶存酸素濃度の差と、単位時間当たりの流出水量を計測しコンテナの面積から単位面積当たりの酸素生産速度を計算した(図22)。酸素生産速度は太陽の日射量の変化に同調し、日没後はマイナスで藻類の呼吸は、夜間はほぼ一定であった。培養槽の水深は10cmで流速は1時間に20cmなので染屋浄水場の場合、ろ過池の水深が1mもあり砂面と藻類膜に酸

湧水池モデルの方が繁殖が良く、活性が良かった。

夜間に一斉に伸びていた。

夜間に細胞分裂をして増えていた。

日中は光合成して炭水化物を貯蔵する。

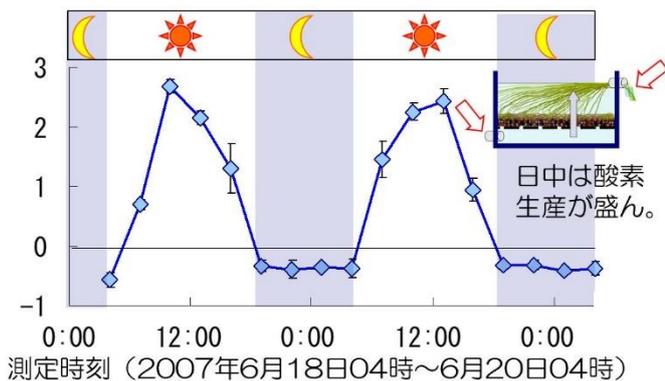


図22 酸素生産は日中のみ

光合成で貯めた炭水化物を使って細胞分裂と同時に栄養塩の吸収。

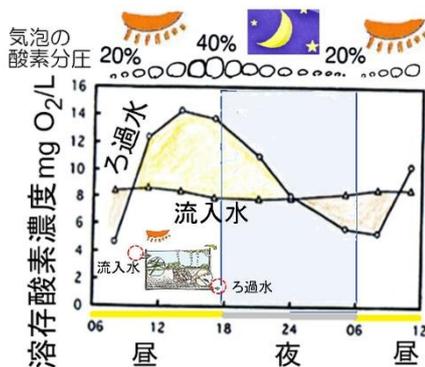


図23 緩速ろ過池では日没後も溶存酸素は過飽和状態

過速度を速くする必要があった(図3、前出)。

8 藻類活性とリン酸態リン吸収

湖沼や河川の藻類が繁殖するには栄養塩が必要である。上向流の培養系の流入水中と流出水中のリン酸態リン濃度の差と、流出速度を測定し、単位面積当たりのリン吸収速度を計算した(図24)。珪藻のリン吸収は終日(1日中)行われるが光合成が盛んな日中より日没の方が多かった。

日中は光合成が盛んで、太陽エネルギーを使って炭水化物を盛んに作り、夜間は蓄えた炭水化物

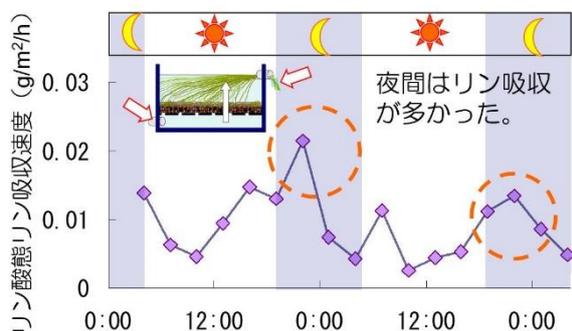


図24 夜間の方がリン吸収は良い

9 糸状珪藻の大量培養の試み

を使って細胞分裂をしていた。

千曲川の河川水から濁り対策をすれば簡単に糸状珪藻を大量に培養ができ収穫も自動でできる可能性があることがわかった。そこで漁業組合の養魚池を使わせてもらい、もう少し大きな規模での培養を試みた(図25)。コンテナを使った上向流培養槽をヒントに厚い合板とビニール



図25 合板の培養槽の作成

で培養槽を作成した。濁りを予め除いた水を上向きに出すことを考えた。培養槽の底に多数の穴を開けた何本もの塩ビ管を設置し、砂礫層の代わりに玉ネギ収穫ネットを底一面に敷き、繁殖した藻が引っかかる様にした。さらにネットが浮き上がらないように農業用支柱で重しをした。

コンテナ培養で繁殖した糸状珪藻を種珪藻として入れた。繁殖しただいた糸状珪藻は培養槽から越流した水と共に流出し桶を使って籠で捕集するようにした(図26)。培養を初めて1〜2週間は糸状珪藻の繁殖は著しかった。しかし

糸状珪藻の大量培養は最初は、調子良かったが。直ぐに捕食動物に食べられた。

糸状珪藻の大量の流出は長くは続かなかった。面積当たりの捕集量はコンテナー培養より少なく、維持も難しかった。原因は水温が高い真夏の培養実験で捕食動物の飛来が頻繁で捕食活動が盛んであったからと思われる。また培養槽を丁寧に洗い、何度も培養を再開させても捕食動物の卵などを完全に は取り除けない事がわかった。休耕している水田を借りて培養実験をしたが野外で大規模だと捕食動物の影響が大きく、殺虫剤を使うこともできず、思う様に大量の藻類を収穫することができなかった。軽井沢の里池は特殊例であった(図9、前出)。



図26 浮上藻を自動的に捕集する仕組み

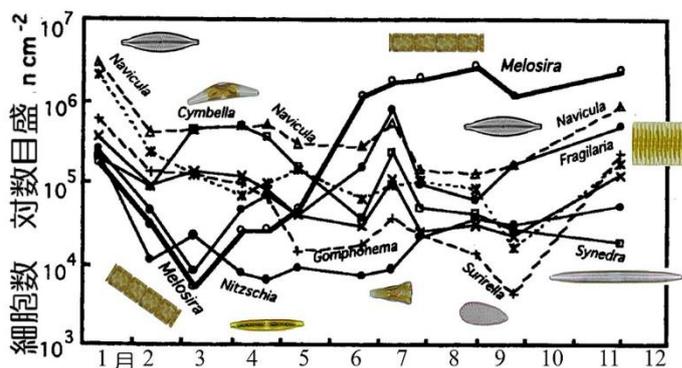


図27 染屋浄水場の藻類繁殖の季節変化

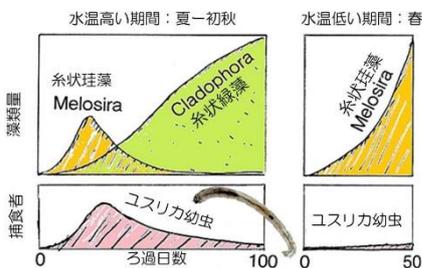
染屋では、削り取り頻度が多く、捕食動物の影響が小さかった。



図28 砂面の削り取り作業

10 染屋浄水場での糸状珪藻の繁殖を考える
染屋浄水場のろ過池砂層表面の藻類被膜を採取し種類毎の季節変化を調べた。水温が低い時期は取水河川の河床で繁殖した付着藻類が流入し砂面に蓄積していた。日射が上り草木が緑の葉を展開しだす4月から糸状になる珪藻メロシラの繁殖が目立ち始めた。その後ろ過池で繁殖する藻は一年中、糸

状になる珪藻メロシラが優占していた(図27)。研究を始めた当時の染屋浄水場では砂面の削り取りを頻繁に行っていた。水温が低く生物活性が悪い期間のろ過継続期間は2週間でも水温が高くなり藻が繁殖しだしたら継続期間は長くても3週間であった。砂面の削り取りが頻繁で糸状珪藻を好んで捕食する水生昆虫のユスリカが大量に増える前に削り取り作業をしていた(図28)。ろ過継続日数が短く捕食動物の影響が小さいので糸状珪藻が一年中繁殖するように感じていたのが



水道公論 58(10): 93-104, 2022
生物屋の緩速ろ過池研究 その13
テムズ水道のろ過池を調べる

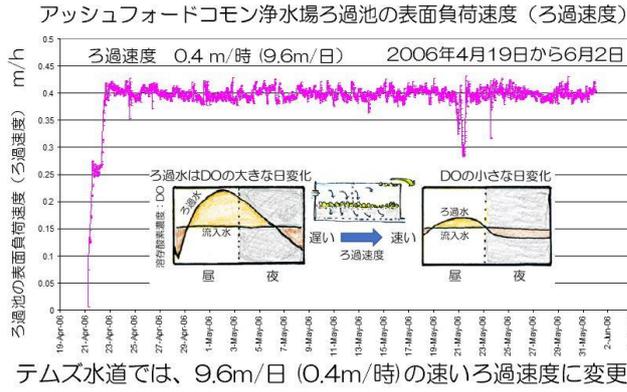
<https://youtu.be/zbjUdFdKTK>

図29 テムズ水道の藻の繁殖と捕食動物

分かった。
11 テムズ水道でろ過継続と捕食動物について理解した
英国ロンドンのテムズ水道のろ過池を調査した時、水温が高い期間のろ過継続期間が3カ月と長いと、糸状珪藻がユスリカ幼虫に捕食され、ユスリカ幼虫に捕食されない糸状緑藻のクラドホラの繁殖が目立った(図29)。水温が低い期間には変温動物の捕食動物の活性が低く糸状珪藻が捕食されにくいことがわかった。またテムズ水道では砂層での生物群集にやさしくするために何年間も速いろ過速度にする実験をして2006(平成17)年には全てるろ過池で1時間に0.

ろ過継続が長いと、糸状珪藻から糸状緑藻に遷移するのがわかった。

テムズ水道では、ろ過速度を速い方が生物群集にやさしいことがわかり、ろ過速度を速くした。



テムズ水道では、9.6m/日 (0.4m/時)の速いろ過速度に変更

図30 テムズ水道のろ過速度

4トール(1日で9・6トール)としていた(図30)。

沖繩の宮古島の浄水場のろ過池では糸状緑藻の繁殖が凄かった。地下水を動力を使って揚水しているのので、せっかく揚水した水を越流させて繁殖した藻を除くことができなかった。またろ過速度が遅く、溶存酸素の日変化が大きく、浮上藻を取り除かないと夜間に砂層

12 沖繩は生物活性が良い



水道公論 58(5): 79-87, 2022 生物屋の緩速ろ過池研究 その8 硬度が高い淡水レンズの島、宮古島を調べる <https://youtu.be/Nv2VTuauNuU>

図31 宮古島では藻の繁殖が著しい

宮古島より南の石垣島には山があり河川もある。石垣浄水場では動力を使わずに表流水を取水し、ろ過池にある越流管は機能していた。宮古島の浄水場と比べる過池での藻の繁殖は著しくなかった。ろ過池では糸状になる珪藻ではなく、糸状の緑藻が目立ったが繁殖し過ぎる状態ではなかった。削り取り作業時に砂面をみると魚や貝類が目立った(図32)。ろ過継続日数が長い証拠でもあった。

内が酸素不足になり砂層内環境を悪くする可能性もあった。そこで浮上してくる藻を取り除く方が臭い水をつくらないので良いと解説をした(図31)。その後、宮古島では定期的に浮上藻を取り除く作業をした。

宮古島でも、藻の繁殖が凄かった。夜間に酸素不足にならないようにしていた。

沖繩の気候は亜熱帯で水温が一年中暖かく日射量も多い。水温が高いと変温動物である捕食動物の活性が高く繁殖した藻は捕食動物に食べられてしまっていた。宮古島では浮上藻を積極的に取り除く作業をし、捕食動物も除かれていたので糸状の藻の繁殖が著しいことに気づいた。上田市の場合も削り取り作業が頻繁で捕食動物が増えだしても取り除かれ、水温が低いので一年中、糸状珪藻メロシラの繁殖が目立った。



水道公論 59(2): 60-71, 2023 生物屋の緩速ろ過池研究 その17 国際研修で生物浄化法の仕組みを教える <https://youtu.be/vZ1Liju6y4>

図32 石垣浄水場では捕食動物の活動が盛ん

石垣浄水場では越流させ、魚や魚介類が多かった。ろ過継続が長かった。

13 緩速ろ過池は生態系だった

緩速ろ過が開発されたときは、細かな砂でゆっくりろ過で清澄な水ができた。浄化の鍵は生物群集による食物連鎖だった。私は糸状珪藻の繁殖に驚いて緩速ろ過池の研究を始めた。水質浄化の主役は砂層上部で活躍する細菌や微小動物(従属栄養生物)の活躍であった。生物は利用できる餌(藻なら日射)の量と、水温に関係があった(図33)。

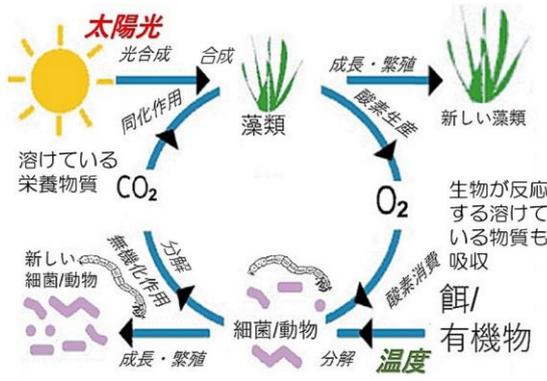


図33 藻と従属栄養生物

藻だけでなく細菌、捕食動物も大きな役割をしていた。



図34 濁度と浄化法

自然界の生物群集の賢い活用が、生物浄化法だ。

一年中、優占的に繁殖しているのに驚いた。各地のろ過池を調べさせてもらい、糸状珪藻から糸状緑藻へ遷移することに気づいた。また緩速ろ過で安全な水をつくるのに必ずしも糸状珪藻や糸状緑藻の繁殖は必須ではなかった。砂層上部で活躍する微小動物が浄化の鍵で、この生物群集が安心して活躍するにはと考えることが必要だった(図34)。

緩速ろ過による浄化は自然界の生物現象の賢い活用だった。自然界での生物現象は、水源の違い、気候により異なる。緩速ろ過池の生物現象も違っている。緩速ろ過の現象を理解するには、異なる地域の浄水場での生物現象を比較し、どうしてかと考えると良い。

私は日本各地、世界各地の浄水場を見学し、緩速ろ過という名前が誤解が生まれたと思った。私は緩速ろ過 Slow Sand Filter という名前では生物群集の活躍をイメージできず、単に機械的な篩いごとの仕組みによる濁り除去と誤解されてきたと思う。

水道に関しての水質基準項目に

生物が反応する溶けている物質も除ける。



信州大学繊維学部同窓会
千曲会
〒386-0018
上田市常田3-8-37
Tel : 0268-22-4465
E-mail : schikuma@siren.ocn.ne.jp
1,500円本体+150円税
+250円送料



図35 生物浄化法の解説本

溶存酸素がない。緩速ろ過では生物が活躍する浄化である。溶存酸素が十分あることが鍵である。常に水中に溶存酸素濃度を気にする必要がある。

生物群集の活躍というイメージの名前にする必要があるので生物浄化法 Ecological Purification Systemという言葉と提案し、その解説本として『おいしい水のつくり方-2』を信州大学繊維学部同窓会(千曲会)から出版してもらった(図35)。普通の本屋の店頭と並んでいないので、本誌(水道公論)で生物浄化法の解説をさせてもらっている。

14 新しい発想の生物浄化法は、いろいろ可能性がある

2000年前、緩速ろ過という名前がつけられた。細かな砂でゆっくりとろ過し濁りが除け病原菌も除けた。浄化の仕組みは砂の表面と砂の間で活躍する微小生物群集の食物連鎖であった。

植物プランクトンを研究していた私は砂層上で繁殖する藻の役割を強調しすぎた。藻は微小動物の餌になり、生物群集を増やすのに寄与していた。生物群集が増える水中の溶存酸素の日変化が大きくなり、酸素不足にならないように注意する必要がある。全ての微小生物が安心して活躍するにはと考えるのが基本であった。

自然界での清澄でおいしい湧水がどうしてできるのかと考えるのが基本で、多くの人が生物浄化法という新しい発想で研究すれば、まだまだ新しい発想があると思っ