名護市　2020年2月27日（水）

生物群集の活躍で安全でおいしい水ができる

中本 信忠　信州大学名誉教授・理学博士　cwscnkmt@yahoo.co.jp

1942年5月31日東京生まれ　東京都立大理学部生物学科卒

外洋は極貧栄養

1972　川と湖の境

精密分析機器より
生物の方が敏感

境界：栄枯盛衰の場所

1974, 1976
ダム湖生態系の利用で富栄養化防止

Univ. São Paulo
Federal Univ.
São Carlos

日伯科学技術
交流の始まり

*Hungry is Normal*に気づく.

大正12(1923)年

1975年10月信州大
繊維学部助手へ

菅平ダム湖1964年

殺藻剤

1975.10.～
ダム湖研究

1984.4.～藻の役割研究

目に見える生物の活躍が藻類

日本中で生物処理
の緩速ろ過を誤解
していた

1

1997年7月8日　宮古島上水道企業団　渡真利光俊 袖山浄水場長　信州大へ
ろ過池へ殺藻剤⇒中止⇒藻が大繁殖⇒水道水がおいしくなった⇒硬度低減化前

2

湖沼や河川は干上がる
ことがある。

岸辺では休眠状態
の藻が見られる。

乾燥に耐えられる状態の生物は、世界中にホコリと一緒に舞って広まる。

⇨

ブランクトンは世界共通：休眠状態の生物が繁殖できる環境に遭遇すると再び活躍しだす。

浮いている藻　植物プランクトン

糸状藻類

付着藻類
ペリファイトン

3

エサがくる表面近くで微小
生物は濁りを捕捉する。

ろ過池は上から下への流れがある。
砂が動かず生物群集にやさしい環境。

流れがあるので糸状藻類が砂層
の上で繁殖。微小生物がエサを
求め砂の上、砂の間で活躍。

病原菌のいない安全な飲料水

微小生物は
短時間で懸
濁物を捕捉。
消化管を通
過する時間
は短い。

微小生物群集による食物連鎖が浄化のカギ

糞塊の中で発酵

深いところにはエサがない。

空腹の微小動物が安
心して活躍できるの
が大切。

微小動物にとって
酸素は必須

4

5

浄化処理の近代水道の起源は産業革命時代

大航海時代（貿易、植民地）

⇒産業革命時代（繊維産業、鉄工業）

都市に人口集中：水が汚れた

ジョン・ギブ、 グラスゴー郊外,スコットランド

染色した繊維を脱色するのにきれいな水が大量にほしかった。

シーボルト長崎へ：1823

1804：礫と砂で河川水を横に流し清澄な水をつくり、市内中に売り歩いた（公共水道の起源）。

産業革命時代、都市に人口が集中し、下水が河川へ垂れ流され、水質汚濁が進行。自然界での浄化容量（環境容量）を超えた。

水系伝染病のコレラ、チフスが流行した。

ジェームズ・シンプソン、1829.1.29.
ロンドン、テムズ河の水を沈殿池と砂ろ過で清澄な水つくる緩速（砂）ろ過を完成。

当時のろ過速度
2-3 m/d (10cm/h).

38 cm 砂上の水深
61 cm 砂層
61 cm 礫層

砂でゆっくりろ過
Slow Sand Filter
緩速（砂）ろ過

ジョン・スノー、 1854年にロンドンで緩速ろ過によるコレラ菌が除けるのを報告。

明治元年(1868) 明治20年(1887)横浜に緩速ろ過施設完成

6

シーボルト長崎へ：1823　明治時代、伝染病対策で緩速ろ過を導入

ジョン・スノー1854年ロンドンで緩速ろ過によるコレラ菌が除けるのを報告。

幕末1863年に長州藩士5名が国禁を犯し渡英University College of London へ

明治元年(1868)

英国人H.S.パーマーの指導で明20(1887)年10月に横浜に日本初の近代水道～36年後：1923(大12)年9.1.関東大震災で被災廃止
染屋浄水場1923(大12)年4月竣工

もう直ぐ100年

英国式の緩速ろ過は安全な水を求め日本中に普及。

1884年 R. コッホがコレラ菌発見

緩速砂ろ過効果の明白な証拠1892（M25）年：ハンブルグではコレラが大流行し、7,500 の死者がでた。しかし、緩速砂ろ過をしていたアルトナでは、患者がほとんどでなかった。

コッホは、水中に一般細菌数が１ml中に、100個以下ならコレラやチフスに対して安全と報告。

現在のWHO基準、水道水基準。無菌でない。無菌にする必要ない。

普通は、少々の病原菌に晒されても、人間は免疫力があるので大丈夫。
リスクを減らす、希釈する、許容できるレベルにする。

7

生物群集の活躍による浄化

緩速ろ過

冬の北米は低温
生物活性悪い
水の粘性大きい

目詰まりしやすい

8

英国式
緩速ろ過 → 世界中に広まる → 泥水でろ過閉塞 → アメリカ

1882(明15凝集剤)＋1910(明43塩素殺菌)
泥水を凝集薬剤で沈殿+急速ろ過+塩素殺菌

アメリカ式
急速ろ過

京都蹴上
1912(明45)

横浜1887(明20)年～1923（大12)年
関東大震災で被災廃止

戦前は英国式緩速ろ過が主流で
ろ過速度は約3m/日が主流。

戦前は大都会で
急速ろ過を導入。

淀橋1898(明31)年～1965(昭40)年

異臭味問題、殺藻処理

境1924(大13)年-現在　　上田市染屋1923(大12)年～現在

急速ろ過が主の米国では藻類は障害生物、味、臭い、ろ過閉塞、硫酸銅で殺藻が常識。

水源（村山）貯水池で1929(昭4)から硫酸銅散布し殺藻処理。
戦後：小島貞男さんが研究、現在も殺藻剤として硫酸銅散布。

柴島1914(大3)年～1974(昭49)年緩速ろ過廃止、急速ろ過へ
近藤正義さんが緩速ろ過を精力的に研究
近藤1935（昭10）年：大阪の柴島浄水場の淀川からの取水導水路に硫酸アルミニュウム（凝集剤）を常時注入

Palmer 1962用廃水藻類学

アメリカの最新化学処理は万能と盲信　　*最新化学技術の魅力*

昭和20(1945)年進駐軍
GHQから塩素消毒勧告

水の店：沖縄だけ

極微量の生物毒でも、微小動物は敏感に反応。

9

凝集剤（殺藻剤）とろ過抵抗

日射量が多い
水温が高い

染屋浄水場では藻類繁殖を抑えるため殺藻剤として前塩素処理や硫酸銅を添加していた。当時は直ぐに目詰まりした。

10

急速ろ過では藻類は困る。緩速ろ過では藻は役立っている。汚泥・汚砂でなく、生物活性層。

上田市染屋浄水場、夏は藻類繁殖が著しい。ろ過開始後、約10日間で糸状藻類の連続培養系が成り立つ。

ろ過水は約10日間で非常に清澄になった。**生物群集が活躍している砂層表面を取り除いてはいけない。**

11

1929(S4)から水源（村山）
貯水池で硫酸銅散布し殺藻処理。
現在も殺藻剤として硫酸銅散布。

ろ過池の砂層表面には貯水池で繁殖した植物プランクトンが蓄積している。ろ過池では藻類は繁殖してない。

微小生物は、微量の毒物質にも敏感に反応する。

日本の水道界をリードしている大都会の水道局に生物現象を理解しようとする人がいない。生物は多様で、季節でも経過日数でも異なる。はっきりと言いにくい。⇒化学屋ばかりが目立った。

急速ろ過の本場アメリカでは藻対策で戦前から硫酸銅散布を勧めていた

12

粗い砂を補砂し、水深を浅くした。

削り取り時に、砂を柱状に採取してみると、大きな砂でも汚れていない。

流入水中とろ過水中の溶存酸素濃度の日変化と気泡内の酸素分圧の変化

砂層表面の藻の光合成が盛んだと、酸素生産が大きく、溶存酸素濃度は過飽和状態になり、気泡が生じやすい。

藻の連続培養状態で気泡が大量に生じ、夜間でもろ過池を酸素豊富な状態を保つ。

砂面で光合成は行われる。ろ過水の溶存酸素濃度は日の出後、2時間程度で急激に高くなる。

水圧をかけた状態での計測の必要性

水素イオン濃度（pH）
生息に適したpH範囲
　水生生物に安全なpHとされているのは、6.8～8.5であり、この範囲を超えると栄養塩は植物に摂取されにくくなり、餌料生物の生産性は低下するとされている。

光合成によってHCO_3^-が減少すれば昼間のpH値は上昇する。しかし、夜間は藻類の呼吸作用により、逆に水中のO2を消費しCO2を放出し、HCO3⁻濃度が高くなりpH値は低くなり、溶存酸素（DO）も減少する。

海水のpHは夏と冬で変化する。
日射量、光合成活性に関係。

海水のpHは年々、酸性化へ。
人間活動の影響か？

サンゴ礁が溶けてしまう恐れ？

17

1992年8月、テムズ水道を初めて訪問。糸状緑藻が目立った。「メロシラの繁殖が著しいのは冬で、来てみたら」と言われた。その後、1994年から96年にかけテムズ水道のろ過池を調べた。

ロンドン市は、緩速ろ過で100%が給水。水源はテムズ川で、最初に沈殿池で約1カ月間貯留。プランクトンを除くため、薬品を使わない粗ろ過（急速ろ過）、オゾン処理をしてから緩速ろ過をする。

18

Englandは硬度が高い。藻の繁殖でpHが高くなり炭酸カルシュウムが珊瑚礁と同じに析出し、砂面が固くなるので2～3月で削り取り。

1829：J. Simpson

1～2m/d

水深38cm

戦前の日本

約3m/d

Slow Sand Filter

世界に広まる英国式標準ろ過速度

4.8m/d

ろ過速度を速めた方が水質が良い

水深80-120cm

テムズ水道の全ての浄水場で、2006年、既に、9.6m/日 (0.4m/時)の速いろ過速度に変更していた。速いろ過速度だと、溶存酸素の日変化が小さく、夜明け時に、酸素不足にならず、砂層内の微小生物群集にやさしい環境になるからである。

生物活性が良い場合、水深を浅くした方が良い

19

1993年4月、 Milwaukee, USA 、40万人以上がクリプト原虫による大規模の集団下痢事故。

アメリカ水道協会は緩速ろ過を再認識し、1994年9月、オレゴン州セーラム市で研修会を開催。

塩素添加で発癌リスク⇒WHO：安全な処理を再認識

1988 緩速ろ過国際会議 英国・ロンドン

1991 緩速ろ過国際会議 米国・ニューハンプシャー

再認識、再発見、現代に通じる技術

人は新しい技術が好きなんだ

1996年6月 埼玉県越生町 クリプト事故

日本：膜処理の勧め

日本に世界の常識とは違う

20

Opflow
American Water Works Association
Vol. 23 No. 10 October 1997

Cryptosporidium has never been detected in the finished water of NSWC; however, studies have found *Cryptosporidium* in greater than 85 percent of all surface water supplies. These same studies identified *Cryptosporidium* in more than 25 percent of the treated (filtered) water supplies with effluent turbidities of less than 0.1 ntu.

1997年10月：表流水の85%以上にクリプト原虫が検出されるのに、処理水にはクリプト原虫は検出されない。

同時に、浄水濁度0.1ntu度以下の処理水の25%以上にクリプト原虫は検出されているとの報告もある。

オーシストはどこにも多数いるが、下痢事故はない。

VIEWPOINT
Am Water Works Assoc.
1997;89(12):8–9.

So Many Oocysts, So Few Outbreaks

Floyd Frost, Gunther F. Craun, Rebecca Calderon, and Stephen A. Hubbs

For centuries people [illegible] that after an infection, [illegible] is less likely to become ill from [illegible]quent exposure. The ancient Chinese, realizing that those who survived childhood smallpox became immune to the disease, intentionally infected their children. Modern vaccination programs are variants of this ancient approach.

Unfortunately, prior infection does not uniformly protect people from contracting subsequent diseases caused by all pathogens. Some infections confer immunity for varying periods of time; others confer little or no immunity at all. Although prior infection with cryptosporidiosis does not appear to completely protect people from subsequent *Cryptosporidium* infections [illegible] more common occurrence of disease is "endemic." With endemic disease, most exposures result in asymptomatic infections rather than illness. The significance of endemic infections is seldom recognized.

If a large number of people in a community are immune to illness caused by *Cryptosporidium* oocysts because of prior infections (corresponding to high levels of endemic infection), fewer illnesses will result from each new exposure. Eventually, such a large percentage of the community's population becomes immune that new exposure [illegible] illnesses. This [illegible] infections rather than disease outbreaks. However, this may prevent detection of the scattered illnesses associated with consumption of drinking water contaminated with oocysts. Continued low-level contamination may maintain such a high degree of immunity in the population that overt outbreaks of waterborne [illegible]

21

現在稼働している緩速ろ過の浄水場で2番目に古い(1891)のはニューヨーク州イリオンにある。

イリオンのマイクMr. Michael McCormack (Ilion Water Commission)は、クリプト大事故(1993)の翌年1994年、アメリカ緩速ろ過研究会を組織し、定年退職の2004年まで続けた。

昔1907年の写真では、浄水池に蓋がなかった。

ニューヨーク州セントラルブリッジに、1997年、新しく覆い緩速ろ過の浄水場が完成した。

水源貯水池の周囲には、牛が放牧されていた。緩速ろ過なのでクリプト原虫による汚染は心配していない。

22

1980 Univ. São Paulo のLuiz Di Bernardo の修士学生が上向き粗ろ過実験をした

凝集剤を使わない安全な濁り対策

1988、ロンドンで発表

1989～国際共同研究
1996年：スイスで出版

礫表面での吸着、物理的な除去が主との考え

生物の活躍が重要：礫表面に吸着した濁りを微小生物が削ぎ取り食べ糞塊にする。

食物連鎖

Luiz Di Bernardo は1974、76年に行ったUniv. São Pauloの同じ学科の先生だった。

23

2000年：スリランカ国立病院の浄水施設建設に協力

泥水の河川水

沈澱槽

重い粒子は沈む
軽い細かな粒子は沈まない

上向き粗ろ過

軽い細かな粒子が礫面に吸着、生物が活躍して除く

砂ろ過槽

JICA無償事業で急速ろ過の浄化施設を建設計画

現地視察、急速ろ過では維持できない。

緩速ろ過の可能性を信大の中本へ相談

上向き粗ろ過で薬を使わない濁り対策で安全な水ができる仕組みを助言

砂ろ過槽　完成時に説明

コマーシャル・フィルターでなく
ナチュラル・フィルター

JICA研修でのモデル

24

2002 年からバングラデッシュでアジア砒素ネットワーク(NGO)活動に協力、農薬分解も考える。

藻の繁殖と捕食動物での分解を繰り返し、糞塊の中で農薬も分解。

上向き粗ろ過を4回繰り返す

2019年、ユニセフ資金で新たに建設

緩速ろ過のイメージ

生物群集による浄化

Ecological Purification System

生物浄化法

2011 年 沖縄のJICA研修で学んだ生物浄化法がフィジーィジーの全村落へ

2011.8.宮古島

2013.1.フィジーの国家事業「生物浄化法による全村落へ安全な水」開始セミナーで講演

薬品を使わない生物浄化法なら自分らでもできる

既存受水槽

2.7トンの雨水タンク

2014～2018に100村以上に装置完了

JICA短期専門家

中本信忠　JICA短期専門家 2014.11.-2018.10. 4年間、1月間 x 8回

江口秀満　JICA シニアボランテア 2015.-2016. 2年間

塩入勇　JICA シニアボランテア 2017.-2018. 2年間

2014.11.-2018.10. 4年間に約100村に完成

2006～サモア：生物活性を高め維持管理改善へ

1984-'87 建設 緩速ろ過池 → 2000 沈殿槽 上向き粗ろ過 → 2006～JICA 宮古島調査 | 2010～生物浄化法の考えで助言・改良 JICA 宮古島⇒沖縄グループ

2019.11. サモア水道公社が自主的にEPSによる村落給水を始めた

1．浅い水深
2．光合成
3．気泡
4．浮上
5．顕微鏡生物
6．排泄、分解
7．食物連鎖
8．砂は仕場
9．大きな砂
10．温度と日射
11．通過時間は数分
砂ろ過槽
Slow Sand Filter
2.0m/
12．早いろ過速度
薬を使わず生物群集にやさしく
濁り対策で上向き粗ろ過の導入を
緩速ろ過でなく生物浄化法と呼ぼう
Eco-Friendly, Smart Technology

29

河川表流水
原水
貯水池
伏流水
清澄な湧水
上向き粗ろ過槽（砂利槽）
上向き粗ろ過槽（砂利槽）
生物浄化槽（下向き砂槽）
沈殿槽
排泥弁
排泥弁
排泥弁
浄水貯留槽
重い粒子を除去
軽い細かな粒子を除去
完全な浄化
病原菌を検出されない安全でおいしい水を貯留
飲み水と調理用各戸へ給水
水栓
地下水
井戸水
曝気
生物浄化法
－自然界の仕組みの活用－化学薬品を使わない
＝微小生物にやさしい
人工的に湧水をつくる
スマートな自然にやさしいエコ・フレンドリーの技術

30

WATER HARDNESS IN UK AND IRELAND
ロンドンは、硬度300度程度の硬水である。でも、スコットランドは、軟水だ。
英国（England）では、紅茶をいれると、沈殿物が生じる。透明なコップも皿洗い機を使うと、白く濁ってしまう。もちろん、湯沸かしポットの口も白い結晶が生じる。
Soft to Medium Water
Medium to Hard Water
Hard to Extremely Hard Water
Source: waterwise
www.waterwise.org.uk
Water hardness may vary in your area due to pockets of hard water.

31

汚れた砂
洗浄した砂
2010年5月18日、スコットランド・エジンバラ浄水場を見学した。泥炭地からの水は茶褐色で、浅い水深で、0.5m程度。藻が良く繁殖し、緑藻も見られた。砂の大きさ、均等係数も問題にしていな。住民の要望で脱色のための急速ろ過施設も建設されていた。

32

1862年からのアイルランド、ダブリンの貯水池水源のVartry浄水場。140年間ほとんど変わっていないとのこと。

驚いたことに、真ん中の浄水地（ろ過水）には覆っていなかった。

茶色の水。塩素での殺菌処理が発ガン物質を生成するのが問題。この水を140年間給水して問題がないと言いう。

黄河（長江）
細かい粒子で沈まない

黒い河：アマゾン平野の森林湿地で生物分解した腐植物質の色

白い河：アンデス山脈からの細かい粒子で沈まない

テムズ河：都市廃水で汚れ曝気しないと大変

上水道（給水人口5,001人以上の施設）　水道統計には簡易水道（給水人口101人～5,000人）は入れない。

急速ろ過
コマーシャル・フィルター

基準の浄水濁度2.0度(mg/L)
クリプト原虫対策で好ましい濁度0.1度(mg/L)

緩速ろ過
ナチュラル・フィルター

染屋浄水場の浄水濁度は常に0.000度（mg/L）

緩速ろ過は濁りも塩素と反応する有機物も無くなっている。水道管内で残留塩素は無くならない。

薬を使わない緩速ろ過なら管路が汚れない。

http://www.cwsc.or.jp/files/pdf/oishimizunotankyu2.pdf

Facebook、 Ameba ブログ、地域水道支援センター、Youtube