

生物浄化法の緩速ろ過処理の見直し

中本 信忠・坂井 正

信州大学繊維学部応用生物科学科

Reevaluation of a Biological Filtration of a Slow Sand Filter

Nobutada NAKAMOTO and Masashi SAKAI

Dept. Applied Biology, Fac. Text. Sci. & Tech., Shinshu Univ.

Abstract : This is an explanation of a slow sand filter (SSF). The reason of change from SSF to a rapid sand filter (RSF) in Japan is discussed. The occurrence of odor trouble in tap water is described. The difference of both treatments is described precisely. It is emphasized that the efficiency of land utilization of SSF is same as that of RSF. The mechanism of production process of the high water quality of water by SSF is explained on the standpoint of biological activity of algal and heterotrophic communities. The reason of occurrence of filamentous algae in SSF is explained and the role of filamentous algae is evaluated. The ideal management of SSF is proposed on the standpoint of algal activity. The weak points in biological treatment are discussed. The conservation of water sources is emphasized for the safe and high quality tap water.

Key words : 水道、生物処理、緩速ろ過、急速ろ過、糸状藻類

tap water, biological filter, slow sand filter, rapid sand filter, filamentous algae

目次

1. はじめに
2. 水道の現状
3. 急速ろ過処理への変更
4. 塩素臭と異臭味問題
5. 緩速ろ過処理と急速ろ過処理の違い
6. 緩速ろ過処理は広大な面積を必要とするか
7. 緩速ろ過処理の浄化機能
8. 緩速ろ過池の維持管理
9. 緩速ろ過池では糸状藻類が繁殖しやすい
10. 緩速ろ過池での藻類繁殖の評価
11. 緩速ろ過処理の弱点は何か
12. 水道水源の保全を
13. おわりに
14. 引用文献

1. はじめに

今世紀になってからの諸産業の伸展は人間社会に多くの便宜と福利をもたらしてきた。しかし、一方には

化学合成物質の無制限な使用と産業廃水および生活廃水の増大のために世界中の水源が汚染されてしまった。戦後は科学技術が万能であると誤解して技術革新を進めたために自然環境との調和を無視し、優れた旧技術を切り捨ててきたのではないか。おいしい安全な水道水を造るといわれる緩速ろ過処理も新技術の急速ろ過処理にとって代わられた場合が多いが、優れた生物処理の一つである。

世界最初の緩速ろ過池は1804年に英国Scotlandで建造された。その基本構造は現在のものと変わりが無い。英国の大部分の水道は現在でもこの方式で給水をしている。緩速ろ過処理は藻類や微生物の機能を最大限活用する優れた浄化技術である。

日本では物理化学処理の急速ろ過処理が普及したが、水源水質の悪化により高度処理まで必要になってきた。しかし、最近では凝集剤を使う急速ろ過処理を1882年世界最初にNew Jersey州で採用した米国では緩速ろ過処理の良さが見直されている (Logsdon & Fog 1988)。

表1 浄水方式別施設数 (1990現在)

浄水処理の施設	施設数	割合%
消毒のみの施設	1,620	44.4
ろ過のみの施設	413	11.3
ろ過のみと消毒のみの併用施設	1	0.05
緩速ろ過の施設	386	10.6
緩速ろ過と消毒のみの併用施設	8	0.2
緩速ろ過とろ過のみの併用施設	6	0.2
急速ろ過の施設	975	26.7
急速ろ過と消毒のみの併用施設	14	0.4
急速ろ過とろ過のみの併用施設	4	0.1
急速ろ過と緩速ろ過の併用施設	54	1.5
浄水受水のみ施設	166	4.5
建設中の施設	1	0.05
合計	3,648	100.0

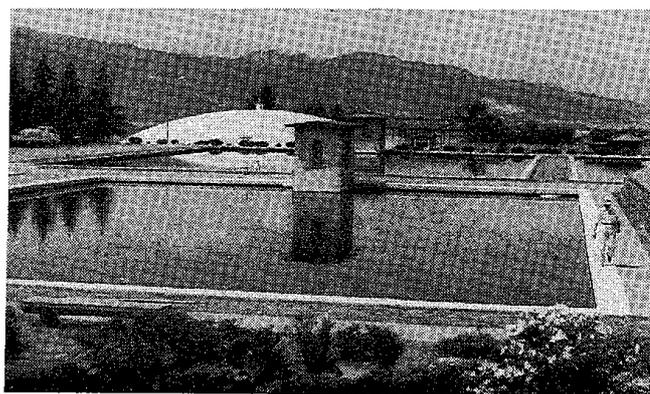


写真1 旧市街地を見渡せる河岸段丘上にある上田市水道局染屋浄水場。70年間改修することなく稼働し続けている緩速ろ過池、配水池、管理事務所（現在は博物館）がある。ろ過池一つの面積は780m²である。初夏はろ過池に藻が浮いているが見られることが多い。

現在の日本の河川水質は生物処理の緩速ろ過処理でまだ十分対処できると思われる。この緩速ろ過処理の良さを日本では十分理解されていないようである。そこで緩速ろ過処理の現状とその素晴らしさについて解説したい。

2. 水道の現状

日本水道協会のアンケート結果（表1、日本水道協会1993a）によると、1990年現在、総施設数の約11%が緩速ろ過による施設である。しかし、浄水量でみると急速ろ過は80%、消毒のみ12%、緩速ろ過とろ過のみ4%、その他4%である。

現在、緩速ろ過処理を行う日本で最大の浄水場は東京都にあることは良く知られていない。この浄水場は日給水量315,000m³で東京都武蔵野市にある境浄水場である。大正7年に着工し大正13年に完成したものである。この給水量は、東京都の総給水量の4.8%に相当している。また昭和3年に通水を開始した世田谷区にある砧上、砧下の両浄水場も緩速ろ過で給水している。これらの浄水場の日給水量の合計は499,000m³になり、東京都は総日給水量6,629,500m³の7.6%を緩速ろ過で給水できる（東京都水道局1990）。他に都市部にある大きな浄水場として名古屋市千種区に大正3年に完成した鍋屋上野浄水場（緩速ろ過による日給水量約20万ト

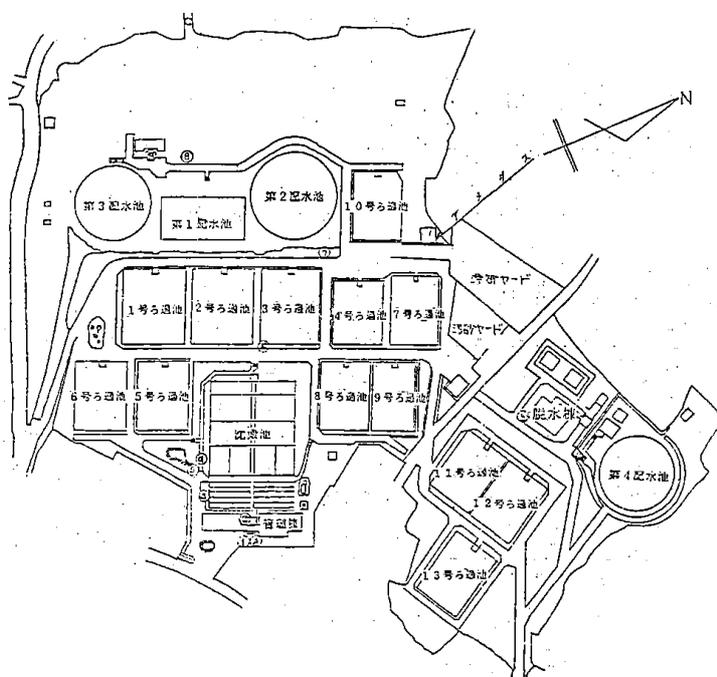


図1 上田市水道局染屋浄水場の平面図。濁水対策の薬注沈澱池がある。

ン）があり、80年も稼働し続けている。
 上田市には長野県で一番大きな緩速ろ過処理による浄水場がある。それは大正12年に完成した染屋浄水場（写真1、図1、計画：56,000m³/d、75,000人、ろ過池面積780m²×13池=10,140m²、施設面積62,780m²）で、上田市には、さらに石舟浄水場（8,700m³/d、26,000人、780m²×5池=3,900m²、施設面積16,393m²）がある。上田市の場合、一人当たり1日の水道使用量は平均360リットルであり、現在の使用実績で推定すると18万人の水道需要に対処できる。上田市の総人口は現在12万人であることから給水能力にはまだ十分余裕があ

生物浄化法の緩速ろ過処理の見直し

表2 処理別浄水量 (百万トン/年)

	1965(%)	1975(%)	1984(%)
消毒のみ	1,184(19.4)	2,815(22.1)	2,857(19.7)
緩速ろ過	1,354(22.2)	1,038(8.1)	739(5.1)
急速ろ過	3,486(57.1)	8,431(66.2)	10,086(69.6)
特殊・他	80(1.3)	453(3.6)	815(5.6)
合計	6,104(100)	12,737(100)	14,497(100)

(藤原1987)

表3 浄水方法別浄水能力の推移 (万トン/日)

	急速ろ過	緩速ろ過	合計(%)
1960	522(54)	449(46)	971(100)
1965	1,231(73)	466(27)	1,697(100)
1975	3,445(90)	377(10)	3,822(100)
1980	4,252(92)	359(8)	4,611(100)
1984	4,514(93)	343(7)	4,857(100)

(小林・鈴木1987)

表4 上水道・用水の浄水方法別年浄水量 (1984)

	消毒のみ	緩速ろ過	急速ろ過	総浄水量
億トン	32.4	7.6	105.8	145.8
%	22.2	5.2	72.6	100.0

(日本水道協会1987)

る。東京都民も上田市民と同じ水道使用量と仮定して計算すると、実に緩速ろ過により139万人に給水できる勘定になる。

英国ロンドン市では緩速ろ過処理で給水している。現在、原水を粗ろ過などをし、12m/dのろ過速度で処理をしている浄水場もある(中本1993)。境浄水場の標準ろ過速度は1日当たり4mであるが、ロンドンと同様に前処理をして3倍の1日当たり12mでろ過をするなら、現有の緩速ろ過処理による施設で東京都は417万人に給水できる。これほど大きな浄水場が東京都内に現存していることに注目したい。

3. 急速ろ過処理への変更

昭和35(1960)年頃から日本経済は急速に発展し、水道需要が急速に伸びた。また河川の水質汚濁が急速に進行し水源が悪くなった。この頃からろ過池のろ過効率が良く、近代的に見える急速ろ過処理が注目されてきた。前処理などに経費を要しても量の確保が先決という事になり、急速ろ過処理が、急速に普及した(表2~4)。この変更の引き金になった理由として次の4点を上げられている。

- ①用地取得が困難となり急速ろ過方式が好まれた。
- ②塩素消毒が義務づけられ、急速ろ過で十分安全な浄

表5 緩速・急速ろ過法の水質改善効果の比較

対象物質	緩速ろ過法	急速ろ過法
濁度	◎	◎
油度	◎	◎
色度	◎	◎
細菌	◎	○
NH ₄ -N	◎	×
臭気	◎	×
マンガン	◎	○
トリハロメタン原因物質	◎	○
過マンガン酸カリ消費量	◎	○
ABS (LAS)	◎	×
藻類プランクトン	◎	50-30%
小動物	◎	○

注：◎：極めて効果的、○：効果的 ×：効果なし
(緩速も急速も特殊処理を含まない)

水が得られるようになった。

③計装化、自動化が進み運転操作が容易になった。

④水源難から汚濁河川水まで取水せざるを得なく、急速ろ過方式の方が適していた。

しかし、水源水質が良好な地方でも、自動化できる急速ろ過処理に変更してきた。

4. 塩素臭と異臭味問題

水道水のカルキ臭さは塩素消毒の義務化に起因するともいえる。原水水質が良かった戦前の日本では緩速ろ過処理による水道施設では伝染病の流行の恐れがあるときのみ塩素消毒を行ってきた。一方急速ろ過処理では細菌の除去が不完全であるので塩素消毒を常時行うようにしてきた。

戦後、急速ろ過処理が普及している米国からきた駐留軍の監視下で水道業務が行われるようになり、浄水場で2ppm、管末で0.4ppmの残留塩素とする塩素消毒が常時行われるようになった。その後、厚生省も給水栓での遊離残留塩素を0.1~0.4ppmにするように指導をしたので全国的に塩素強化(昭和32年管末で0.1ppm以上)になった。その結果、日本の水道水は急速ろ過処理でも緩速ろ過処理でも原水水質に関係なく細菌学的に安全な水道水を供給できるようになった(日本水道協会1987、厚生省1987)。

近年は水道水源とする河川水も有機汚染が進み、水質が悪くなっている。浄水場では原水由来のアンモニアを分解するために高濃度の塩素処理が必要になり、塩素消毒剤は消毒よりも酸化剤としての役割の方が大きくなってきた。それ故、強い塩素臭が管末水にまで

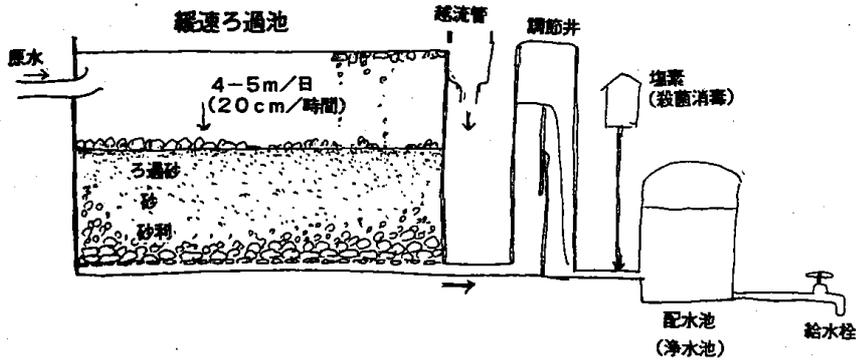


図2 緩速ろ過池の基本構造。

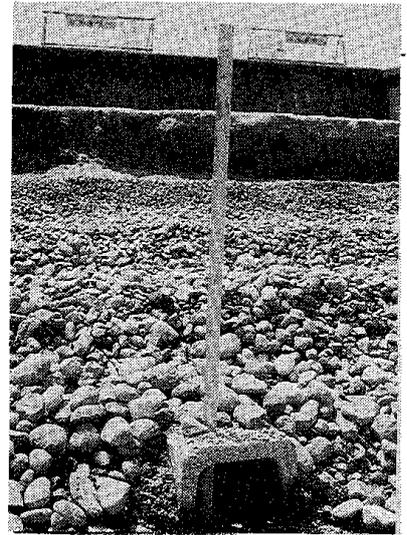


写真2 緩速ろ過池のろ床断面。
(本来はろ過砂の層はもっと厚い)

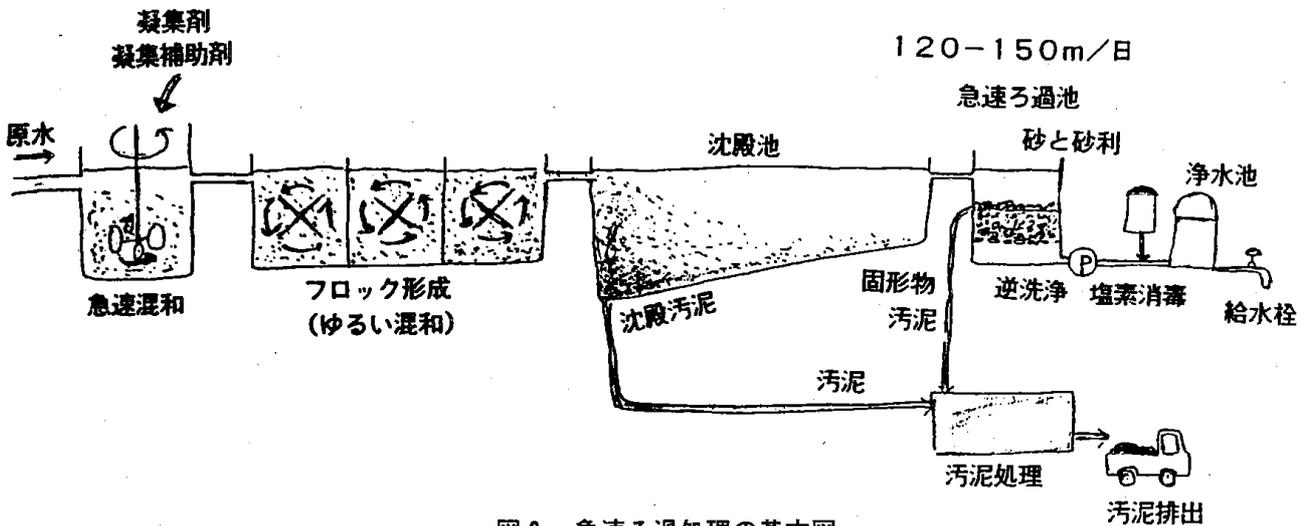


図3 急速ろ過処理の基本図。

およぶ結果となった。

しかし、1974年米国Mississippi州Louisianaの住民の癌発生率と水道水中の有機物質が関係しているとR. H. Harissが発表して以来、世界各地で問題になった。それは塩素が腐植物質などと反応し、発ガン物質のトリハロメタンを生成することに起因するとのことであった(丹保・真柄1983)。

水道原水の緩速ろ過処理法と急速ろ過処理法の水質改善効果について小島1985および松井1992の啓蒙書を元に表5にまとめて示したが、緩速ろ過処理は全ての項目について極めて良好である。急速ろ過処理は、水源水質が良好の場合は良質の水道水を供給できる。しかし、水源ダム湖の富栄養化が進行して植物プランクトンが繁殖し、さらにその藻類が死滅分解して生ずる異臭味物質までは取り除くことはできないので塩素臭以外にも問題になってきたのである。

急速ろ過処理が普及した日本でも良質で異臭味のない安全な水道水が求められてきている。その結果、家庭用浄水器まで普及した。最近では水道水の安全性や浄水器については各種雑誌でとりあげられている(日本水道協会1993b)。また、この浄水器は高価であるので、分解掃除をする使用者があった。その結果、給水栓にろ過池から漏出してくるいろいろな生物がいることまでも知られるようになった。従来から給水栓から漏出する生物の事故も粗い砂でろ過し、また砂を逆洗浄をする必要がある急速ろ過処理で給水している地域が多いことは良く知られていたが(小島1985)、これらの対策としても高度処理が求められるようになってきた。

5. 緩速ろ過処理と急速ろ過処理の違い

各地の緩速ろ過処理による浄水場を見学すると浄水

生物浄化法の緩速ろ過処理の見直し

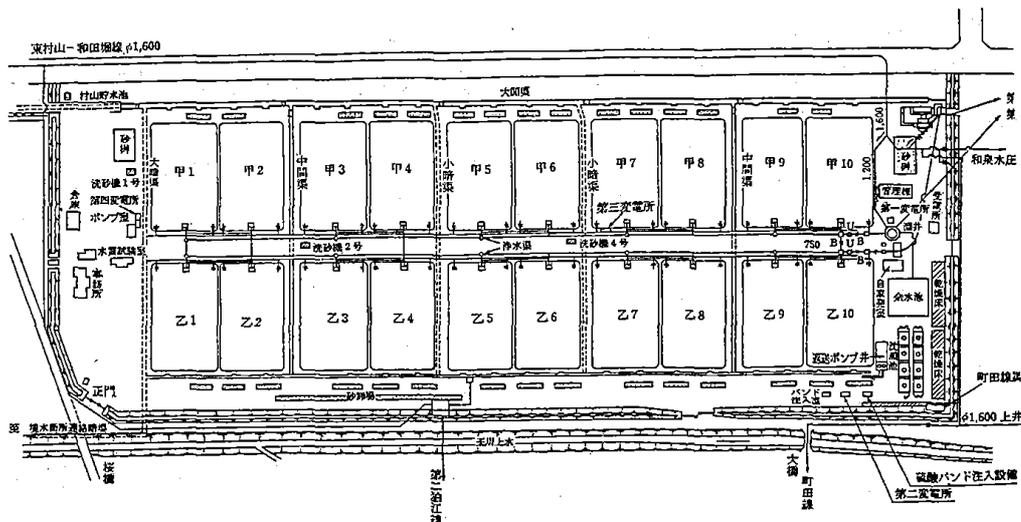


図4 東京都境浄水場の平面図。4,630m²の緩速ろ過池が20池ある。

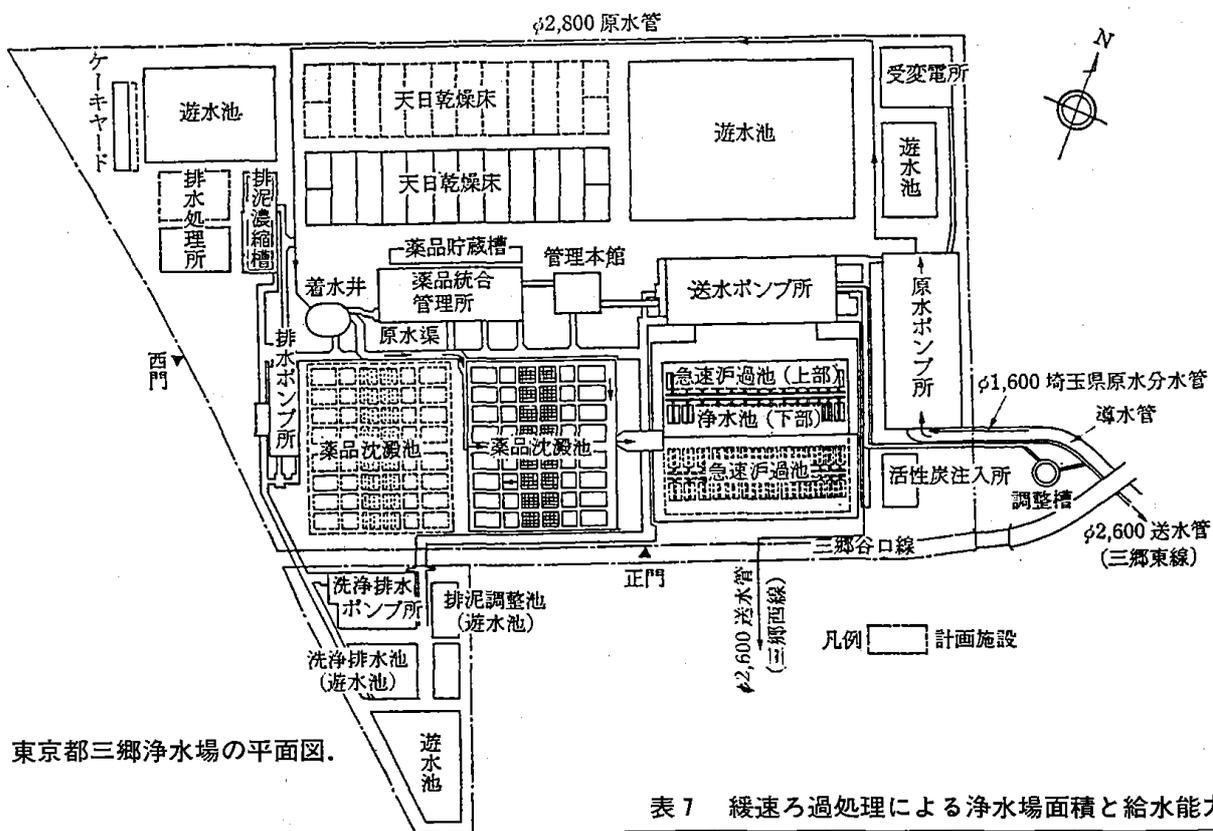


図5 東京都三郷浄水場の平面図。

表6 急速ろ過処理による浄水場面積と給水能力

浄水場	ろ過池面積 m ²	能力 m ³ /d	ろ速 m/d	施設総面積 m ²	能力/総面積 m ³ /m ² /d
宇都宮市松田新田	-	100,000	-	76,707	1.30
新潟市東港	648	82,800	127	30,574	2.71
神戸市奥平野	-	60,000	-	65,000	0.92
長野県上田	480	48,000	120	32,963	1.46
飯田市妙琴	-	30,000	-	12,320	2.43
安中市久保井戸	246	22,000	120	34,926	0.63

表7 緩速ろ過処理による浄水場面積と給水能力

浄水場	ろ過池面積 m ²	能力 m ³ /d	ろ速 m/d	施設総面積 m ²	能力/総面積 m ³ /m ² /d
東京都境	926,000	315,000	3.4	210,000	1.50
東京都砧上	16,146	114,500	7.1	101,003	1.13
上田市染屋	10,140	56,000	5.5	62,785	0.89
高崎市若田	-	40,000	-	65,000	0.61
富士宮市北山	7,200	17,970	3.0	33,579	0.54
飯田市砂払	-	15,400	-	15,178	1.01
飯田市野底	-	2,100	-	7,300	0.29
須坂市仙仁	840	2,200	3.9	3,180	0.69
須坂市豊丘	91	326	5.4	326	1.00

場にはろ過池しかないことに驚かされる。これらの浄水場は明治・大正時代から設備や計器の更新もなく稼働し続けている場合が多い。基本的な構造は図2に示すように水深約1mのろ過池と底には厚さ約1mのろ過砂があるだけである。自然の重力によるろ過を行い、そのろ過速度は下方へ1日に約4～5mである。この速度は1時間に約20cmで、毎秒約50ミクロンであり、運動能力のある原生動物が活躍できる環境である。

ろ過速度は調節井の水位堰で調節される。浄化された水は配水池（浄水池）に貯留され各家庭へ給水される。塩素は殺菌消毒の目的で添加される。

ろ過池の底には厚さ約1mほどに粒径約0.3～0.45mm（厚生省1977）のろ過砂があるだけである。（Visscherほか1987のWHOマニュアルではろ過砂の粒径は0.15～0.3mmが良いとされている。）その下は砂の粒径を徐々に大きくし、砂利・礫になる。最後は底の下部集水渠からろ過水を集める（写真2）。

一方、急速ろ過処理は図3に示すように、凝集剤および凝集補助剤により原水中の懸濁物質や溶存物質を沈澱させ、上澄水を急速ろ過池でろ過するのが基本である。水質を自動計測し、pHなどを調節し、適正に薬品を添加する。添加後は良く攪拌し、フロックを形成させ沈澱しやすくし、沈澱池でフロックを沈澱させる。沈澱汚泥は自動的に汚泥処理装置へ排出される。上澄水は急速ろ過池に入り、砂と砂利でろ過をする。このろ過速度は1日当たり120～150mであるので急速ろ過処理と言われる。強制的にろ過をするために強力なポンプが必須であり、また沈澱汚泥が越流し、ろ過池をすぐに詰まらせる。ろ過閉塞したろ過池は自動的にポンプで逆洗浄し、汚泥を汚泥処理施設に排出する。ろ過池では逆洗浄するとき小さな粒径の砂は流出してしまうので、緩速ろ過池のろ過砂に比べて粒径の大きな砂でろ過をする。この砂の粒径は通常0.6～0.7mmの砂が広く用いられている（厚生省1977）。凝集沈澱しにくい細菌やプランクトンなどは粗砂のろ過池を通過しやすいので、塩素による殺菌消毒は必須になる。また、毎日排出される莫大な量の汚泥を廉価に処理するように、天日乾燥処理して搬出する。また用地難の場合、プレス機械などにより脱水し量を減らして搬出する場合もある。

急速ろ過処理では、各種電気計測や機器が常時稼働して初めて安全な水道水ができる。そのため停電対策として大きな自家発電設備が必須である。急速ろ過による浄水場は巨大な水道水製造工場である。一方、緩速ろ過処理では電気機械は必須ではないので、自家発

電設備を必要としない。

6. 緩速ろ過処理は広大な面積を必要とするか

緩速ろ過による浄水場は、確かに広い面積のろ過池が必要である。しかし、浄水場にはろ過池以外の施設面積は極めて小さい。一方、急速ろ過処理による浄水場のろ過池の面積は緩速ろ過によるろ過池の面積に比べて小さいものが多い事は事実である。しかし凝集沈澱池、汚泥処理施設、発電施設、薬品処理施設など付帯設備の面積がろ過池の何倍も必要である。毎日排出される汚泥のために広大な天日乾燥池が必要である。もちろん汚泥をプレス機械で処理する施設を建設すれば多少は面積は減少する。浄水場の施設総面積当たりの浄水量を調べると緩速ろ過処理も急速ろ過処理も余り変わりがないようである。参考に水道施設設計指針・解説（厚生省1990）に掲載されている緩速ろ過処理による東京都境浄水場（図4：大正13年通水開始）と急速ろ過処理による東京都三郷浄水場（図5：昭和60年通水開始）の各平面図を示す。また手元にある浄水場のパンフレットから施設（敷地）面積当たりの浄水量を比較すると、緩速ろ過処理による浄水場は土地利用効率が悪いということはないことが判明した（表6、表7）。

7. 緩速ろ過処理の浄化機能

緩速ろ過処理では表5（前出）に示したように、濁度、色度、有機物、アンモニア性窒素、マンガン、カビ臭、トリハロメタン前駆物質、界面活性剤、細菌、ウィルス、などあらゆる点で良好な除去能力をもっていることが知られている。

緩速ろ過池での生物群集の役割を図6に示した。ろ過砂の表面は生物（ろ過）膜または汚泥膜（schmutzdecke、dirty skin、filter skin）と呼ばれ（Huisman & Wood 1974）、緑褐色から赤褐色の粘質の膜で、珪藻を主体とし、その他の藻類や原生動物、輪虫、細菌などと原水由来の有機物や粘土で構成されている。また、砂層表面下数センチは砂粒も赤褐色、粘質性物質でコーティングされていてズーグレアzoogleaと称され、主に細菌を主体とした集落である（写真3）。

小島1968および水道維持管理指針（厚生省1982）によると砂層表面および表面下数センチの生物膜の浄化作用は次の4つに大別される。

① 篩作用

原水中の浮遊物を濾し取る単純な物理作用である。ろ床に浮遊物が蓄積すると間隙が小さくなり小さいも

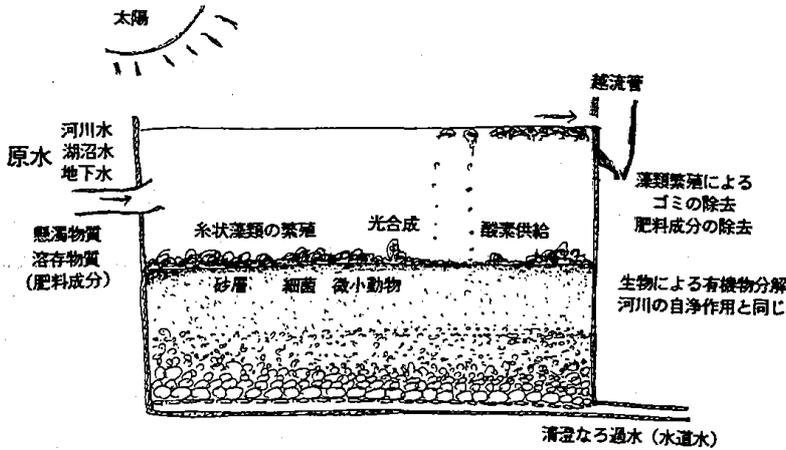


図6 ろ過継続中の緩速ろ過池での生物（藻類と従属栄養生物）群集とその役割。

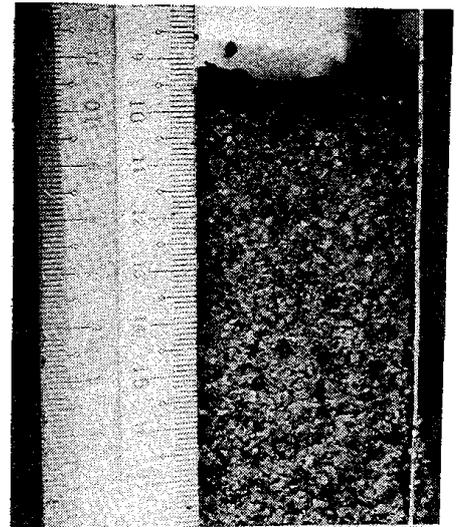


写真3 緩速ろ過池の砂層上部の状態（表面下数cmは褐色である）。

のまで除ける。蓄積物に細菌が繁殖し寒天質を分泌すると丈夫で緻密な膜ができ篩作用は一段と大きくなる。

②沈澱作用

通常は懸濁物質の大部分は表層で除去される。ろ過膜の発達が悪いときに砂層中に侵入する懸濁粒子があるが、通常は安定した浄化機能を発揮する。砂層中の砂粒にも浮遊物を抑留する作用がある。表層から20cm位まで珪藻の死骸や粘土粒子の浸入が観察される。

③吸着（付着）作用

粘土粒子、細菌、藻類は負の電荷を帯びていて、また砂粒も負に帯電しているので吸着が起こらない。しかし、濁りや細菌を含んだ水を通すと砂粒表面の電荷が逆転し、砂粒表面に流入懸濁物質（粘土粒子、細菌、藻類など）が吸着（付着）する。これは細菌やその代謝産物により砂粒表面が覆われるからと考えられている。

④生物作用

生物膜が形成されると原水中の懸濁物質および溶解物質の浄化作用が発現する。

④a. 生物膜の形成

新砂は負に荷電しているが、正の電荷を有する腐植物質（植物が主として微生物によって分解されてできる産物で、鉄、アルミ、シリカなどと結びつき錯化合物を作っている）を吸着し赤褐色になる。砂粒表面の電荷はこの腐植物質の吸着により逆の正になり、負に帯電した粒子、有機ミセルや陰イオン（ PO_4^{3-} 、 NO_3^- など）を吸着する。砂粒表面に蓄積した有機物は細菌により分解され、同時に無機化された栄養塩類も吸着される。砂層表面に日光が当たると藻類にとって絶好

の生活環境になる。

ろ過膜生物は原水とともに流入したものと繁殖したものがある。年間を通じて珪藻が90%以上である。原生動物、ミミズ、線虫、水生昆虫などが生活し、有機物の浄化に寄与している。砂層内部の生物膜（膠状被膜、ズーグレア）は細菌が主である。

④b. 生物膜の浄化作用

「表面のろ過膜」は篩作用、吸着作用とともに、藻類の光合成による酸素の供給によって、砂層内を常に好氣的状態にし、有機物、鉄、アンモニアなどを酸化する。さらに光合成により水のpHが上昇し砂層の電位が正電荷に逆転し、鉄・マンガンの酸化を促進する。

ろ過膜の動物は直接有機物や細菌類を食べて浄化に寄与する。有機物を体内で分解し他の動物や細菌に利用しやすい形にして排泄し浄化を促進する働きがある。「ズーグレア（砂層内）」は炭水化物を炭酸ガスと水に分解、有機窒素化合物やリン化合物を無機化する。砂層内には有機物の分解過程に対応する細菌相が垂直的に分布し、無機化を完成させる。

生物群は浄化すべき基質の変動に相応して自動的に増減するので、ろ過水の水質はすこぶる安定性にとみ信頼性の高い処理ができる。

太陽光が緩速ろ過池の底まで到達することから、底の砂層表面には糸状藻類が繁茂するのが一般的である。ろ過池は湖沼と異なり流れが常にあるので浮遊生活をする植物プランクトンは繁殖できない。日本各地の緩速ろ過池を調べると流入原水中に栄養物質が十分あるような場合（藻類潜在生産力が高い場合）は、ろ過開始とともに糸状珪藻メロシラが繁殖し（写真4）、優占

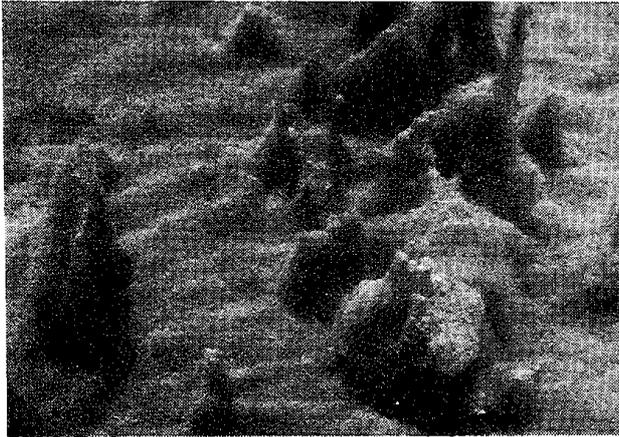


写真4 ろ過池の砂層表面で糸状珪藻メロシラの藻類被膜が形成し、気泡の浮力で浮き上がるところ。

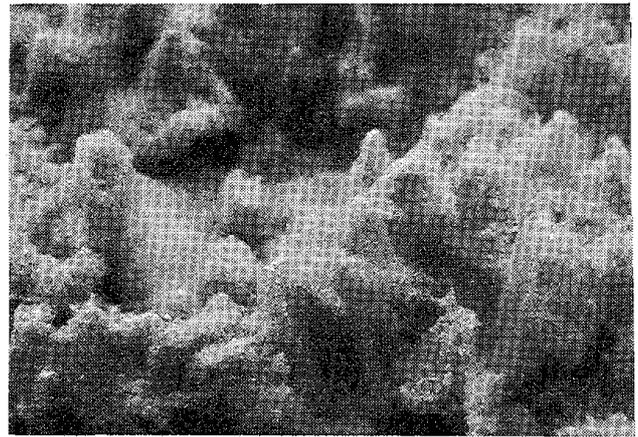


写真5 真綿状の藻類被膜が発達しゴミを捕捉するが水は通過する。

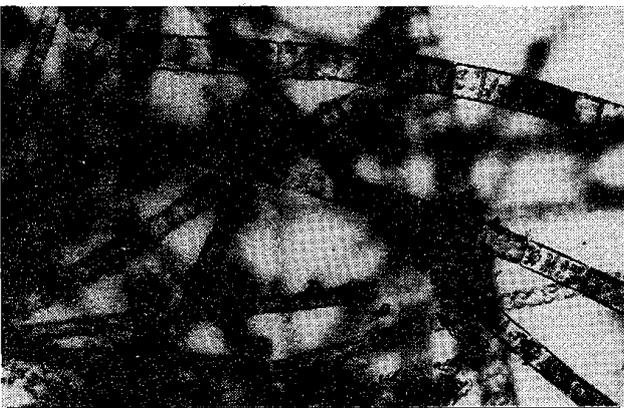


写真6 ゴミを捕捉している糸状珪藻メロシラ（細胞直径8～35ミクロン）の顕微鏡写真。

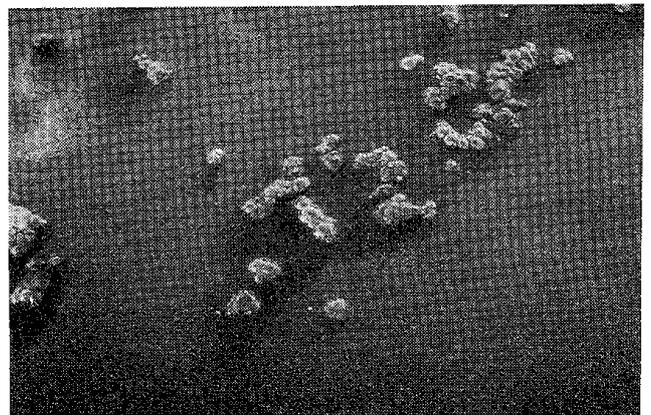


写真7 光合成により生じた気泡の浮力で表面に浮上している藻類被膜。

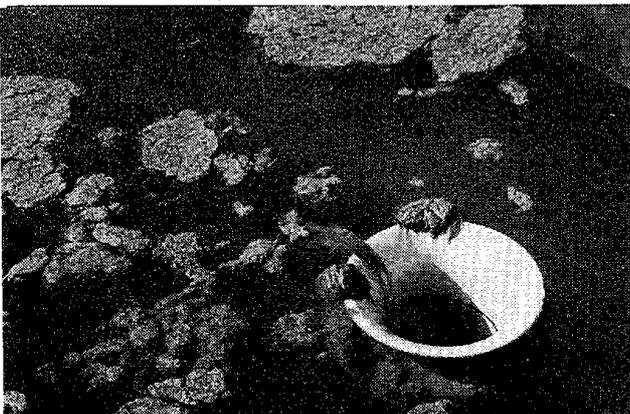


写真8 糸状藻類の繁殖が著しい期間には藻類被膜は盛んに剝離浮上し、水位調節およびスカム排出用の越流管から流出するのがみられる。

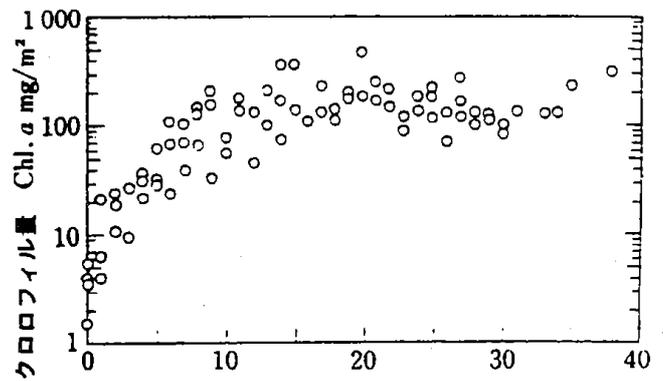


図7 ろ過継続に伴う砂層表面の藻類現存量の変化。糸状藻類の繁殖が著しい期間はろ過開始後10日頃までは対数増加し、その後は連続培養状態になる。

するのが一般的である(写真5)。砂層表面に繁殖した糸状藻類は真綿状の藻類被膜を形成する(中本・江連1989)。この藻類被膜は流入してきた懸濁物質を捕捉し(写真6)、光合成により生産された気泡の浮力で底から浮上し(写真7)、油膜などを取り除く越流管からろ

過池外へ流出する(写真8)。藻類が盛んに繁殖することにより原水中の溶存栄養物質も除去される。砂層表面の藻類被膜の盛んな発達には流入原水を溶存物質と懸濁物質の少ない河川上流の伏流水のような水質にしている。これは上流の清澄な地下水を人工的に造ってい

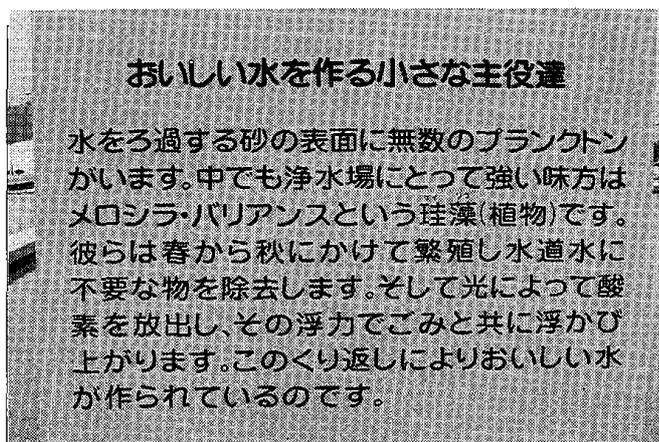
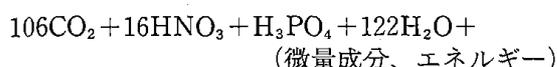


写真9 上田市染屋浄水場の糸状藻類の役割を啓蒙する掲示。



(光合成) ↓ ↑ (呼吸、分解)

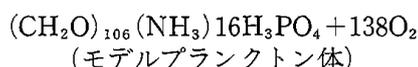


図8 藻類による有機物合成および分解作用の模式図。

のと同じである。ろ過池で繁殖し、ろ過池が糸状藻類の連続培養状態(図7)になると、藻類は自動浄化者(automatic purifier, Nakamoto 1993)、除去者(bioeliminator, Sladeckova 1991)の役割が大きくなる。

緩速ろ過池では多様な微生物群集が時間をかけて分解するので表5に示したように難分解性の有機物まで分解できる。また土壌中の微生物によって分解可能な残留性の少ない農薬は緩速ろ過池の微生物群集でも分解できそうである。それ故、良質でおいしく、安全な水道水が造られるのである(写真9)。

水中の窒素とリンに関する生物作用はプランクトンの元素組成から図8の式(Redfieldら1963)のようであると考えられている。砂層上部で藻類は光合成を盛んに行い、藻体を造り浮上して越流管から流亡する。また夜間や砂層内部の従属栄養生物群集は呼吸や分解作用を行っている。

この式は窒素とリンと有機物の関係だけを示したが、実際には微量元素も必要である。光合成が盛んであることは酸素を多量に生産して、砂層内の従属栄養生物の活動を助けている。藻体が増加することは酸素をそれだけ多量に放出することを意味している。また、浮上した藻が流亡することにより、ろ過池内での藻自身による酸素消費を少なくもしている。

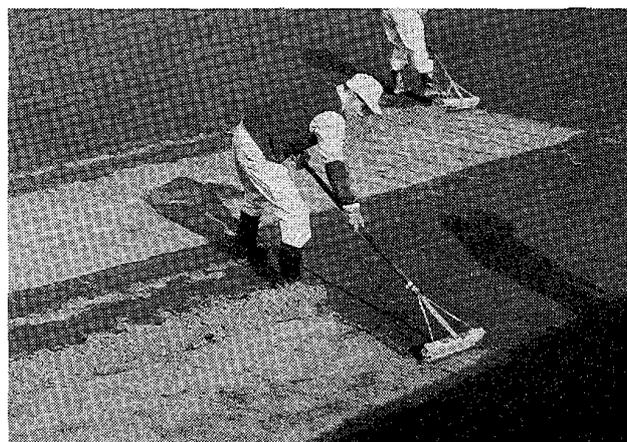


写真10 ろ過閉塞した汚泥の削り取り作業。砂層表面を薄く取り除く。

8. 緩速ろ過池の維持管理

緩速ろ過池は水深約1mの水泳プールのような構造で、底には砂層があり、浄水はこの砂層を通過させることで得られる。その原水は河川表流水、地下水または貯水池の水で、1日3~6mと遅い速度で砂ろ過を行うのが標準である。ろ過を長く続けると砂層表面に汚泥が蓄積しろ過抵抗が大きくなりろ過閉塞する。ろ過閉塞したろ過池は落水させ、砂層表面の汚泥と表面から約0.5~1cmの厚さの砂層を削り取り、ろ過閉塞を回復させる。原水水質の違いにより異なるが約20~40日で削り取り作業を行うことが多い。この作業を日本では人力で行っていて(写真10)、人手がかかるので問題になってきた。しかし、英国では数十年前から、機械を使って作業をしている(写真11~13)。しかし日本では機械の導入が行われなかった。また、削り取った砂は洗って再度使用するのが普通である(写真14)。削り取った砂を洗わずに、多少規格が不揃いでも廉価な砂を購入する場合もある。

ろ過池管理には、生物処理である緩速ろ過の浄水原理を無視したり、生物による浄化を重要視しない例が多々ある。河川が富栄養化し、湖沼では藻類の大繁殖が観察されるようになると、藻類繁殖=公害・汚濁と短絡的に考えてしまい、藻類繁殖は悪いものとされた。緩速ろ過池でも藻類の繁殖は外観が悪いので嫌われた。そこで、藻類繁殖を抑えるために、殺藻剤や塩素を入れる浄水場まであらわれた。またろ過池には水位調節とスカム排出のための越流管を備えているのが本来であるが、渇水時期に越流する水がもったいないとのことで、越流管に蓋をしてしまい、ろ過池で繁殖した藻対策に困る場合もある(写真15)。スカム排出と水位調節のための越流管の機能についてはWHOのマニユア

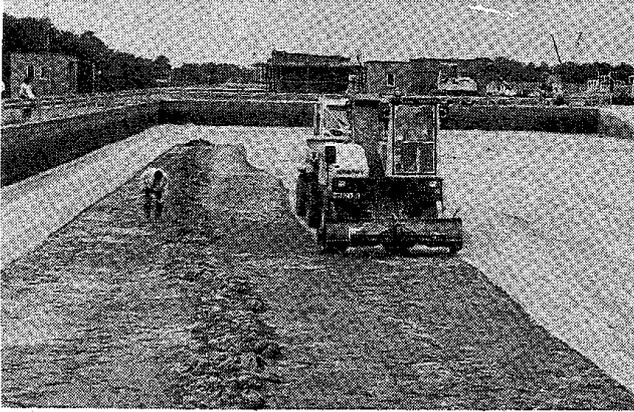


写真11 ロンドンの浄水場では砂層表面の削り取り作業は機械化していた。夏は長期間使用したろ過池には糸状緑藻クラドホラが繁殖する。

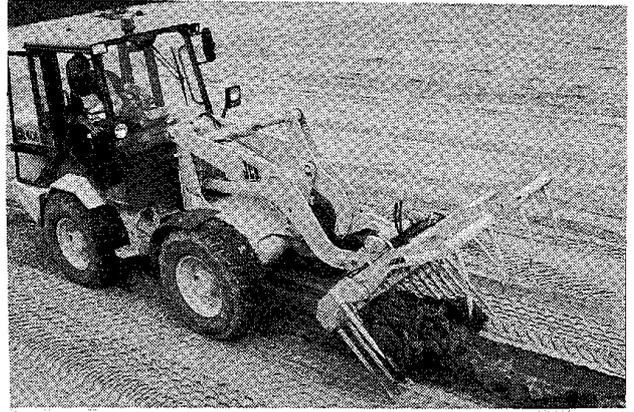


写真12 糸状緑藻クラドホラの取り除き作業も機械で行っていた。



写真13 機械による砂層表面の平滑化作業。

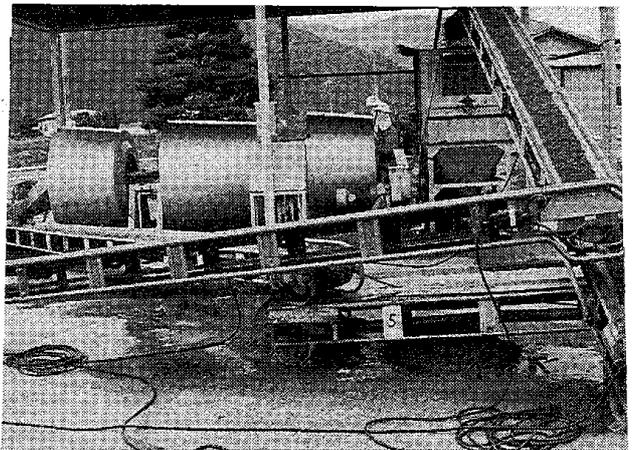


写真14 削り取った砂の洗砂機械。

ル (Huisman & Wood 1974) に明記されているが、日本ではろ過池内で発生するスカムを排出させる役割もある越流管の重要性についての認識は小さいようである。

水質汚濁が進行した都市河川では水温の高い夏期に河川水中の溶存酸素が少なくなることがある。好気的環境に生息する微生物の働きで水質浄化を行う緩速ろ過処理では、このような原水を処理しきれずに中止せざるをえなかったのは理解できる。しかし、本来、このように悪い水源を水道水源にすることが問題である。ところが原水水質が悪いロンドンの浄水場では汚濁が進行した原水を貯水池に引水し、貯水池で繁殖する生物(藻および微小生物)により酸化分解を行い。その後緩速ろ過処理をしていた(中本1993)。

日本の標準ろ過速度は1日に4~5mで、英国では1日に4.8mが標準とされている(Toms & Bayley 1988、Woodward & Ta 1988)。この速度は時速20cmであり、毎秒55ミクロンである。原生動物ゾウリムシ

の体長は約200ミクロンで、1秒間に自分の身体の大きさの10倍程度は軽く走ることができる。つまりこの環境は繊毛をもって運動できる原生動物が十分活躍できるのである。しかしこの流速環境では運動能力のない浮遊性植物プランクトンは繁殖はできず、光合成生物としては糸状藻類のみが繁殖可能である。

9. 緩速ろ過池では糸状藻類が繁殖しやすい

ろ過池は浅いプールである。光があれば、光合成生物の藻類が繁殖するのが一般的である。上田市染屋浄水場の場合、河川表流水が水源であり、集水域内には人家、水田や果樹園があり肥料成分が河川に流れ込むので藻類繁殖に必要な栄養が豊富である(図9)。水温が高く、農作業が活発な4月から10月にかけてろ過池では藻類が盛んに繁殖する。ろ過池は常に上から下へのゆっくりとした流れがあるので、浮遊して生活するプランクトンや河川の礫面で繁殖するような付着藻類は繁殖できず、真綿状に繁殖する糸状藻類のみが繁殖

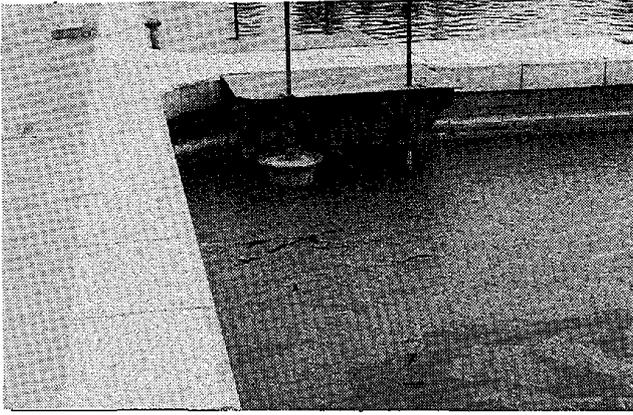


写真15 越流管の口にコンクリートで蓋をしたために、繁殖しすぎた藻類が流出できずに腐りやすい。



写真16 糸状珪藻メロシラがユスリカ幼虫に捕食されやすいとメロシラの藻類被膜の上に糸状緑藻アオミドロの藻類被膜が発達することがある。

可能であった(中本・江連1989)。各地の浄水場を観察すると、ろ過池で繁殖する藻類は、糸状珪藻(メロシラ、フラジラリア、タペラリア、デアトマなど)が優占するのが一般的であった。また、珪藻を好んで捕食するユスリカ幼虫が水温が高い時期には増えやすい。珪藻の繁殖が悪く、藻類被膜の剝離浮上現象が少なく越流管から藻類被膜が流亡しにくい場合は、ユスリカ幼虫が藻類被膜と一緒に流出しにくい。このような場合はユスリカ幼虫がろ過池内で繁殖しやすい。この場合、ユスリカ幼虫に食べられにくい大きな細胞の糸状緑藻アオミドロ(スピロギラ:写真16)、クラドホラ(カワシオグサ:写真12)やアミミドロが繁殖することがある。また農耕地からの栄養塩の流出が少ない冬期は、栄養塩濃度が低く藻類は繁殖しにくかった。このような時期は糸状藍藻オシラトリア、糸状緑藻ウロスリックスなどが繁殖することもあった。

ダム湖や貯水池では、一般に初夏に植物プランクトンが湖水中の栄養塩を使って大繁殖をするので湖水表層水の藻類潜在増殖能が低下する。このような湖水は生物利用可能リン濃度が少なくなるのが普通である(中本1978、1983、Nakamoto 1981)。石舟浄水場の場合、水源の菅平ダム湖で植物プランクトンが大繁殖したときは、生物利用可能のリン濃度の低い水がろ過池へ供給されるので、緩速ろ過池では新たに藻類は繁殖できず、流入プランクトンでろ過閉塞しやすかった(野崎ら1992)。このような場合に試験的にろ過池にリン酸塩溶液を添加したところ、糸状藻類が繁殖しろ過閉塞を防止する効果があるようであった。

また石舟浄水場の場合、上流の水源地の菅平高原は冬はスキー客で、夏はラグビーやテニスの学生合宿が盛んである。また菅平高原は高原野菜の産地でもある

(写真17)。耕作期間は農耕地からの肥料成分が菅平ダム湖へ流入し、植物プランクトンのブルームが著しい。この時期は生物利用可能のリン酸塩が不足するために石舟浄水場では流入してくるプランクトンでろ過閉塞しやすくなる。盛夏や冬期は学生などの流入人口が増加し、下水処理廃水が増加し、栄養成分がダム湖を経由して石舟浄水場まで流下する(図9)。また、秋はダム湖水が循環するため深層に蓄積した栄養塩も表層まで回帰してダム湖から流出する。

石舟浄水場のろ過池では、下流の染屋浄水場よりも糸状藻類の繁殖が著しかった。この原因は下水処理廃水による栄養成分の河水水への添加効果が大きいものと考えられた。下流の染屋浄水場での藻類被膜の発達は5月から10月頃までが盛んであり、この期間は農耕地での農作業が盛んな期間と一致している。実際に藻類の成長の制限因子であるリン酸濃度を調べるとこの期間は約0.02mg P/l以上になっていた。この濃度以下であるところ過池では藻類の成長が悪くなるようであった。これらの関係を模式化して図10にまとめて示した。

石舟浄水場では下水処理場が稼働する以前は糸状藻類の繁殖が悪くろ過閉塞しやすかった。当時の菅平高原のし尿処理はバキュームカーで上田市のし尿処理場まで運んで処理をしていたことから、ダム湖への栄養塩負荷の主要因は高原野菜畑からの栄養成分の流出であった(中本ら1981)。しかし1985年6月から下水処理場が稼働したと、栄養成分に富んだ処理廃水がダム湖堰堤に放出されるようになり(写真18)、この影響が石舟浄水場にまで及ぶようになった。この頃から石舟浄水場のろ過池では糸状藻類の繁殖が著しくなってきた(信濃毎日新聞1985)。特にダム湖への下水処理廃水の影響は菅平高原への入込み人口が多い冬期と夏期に

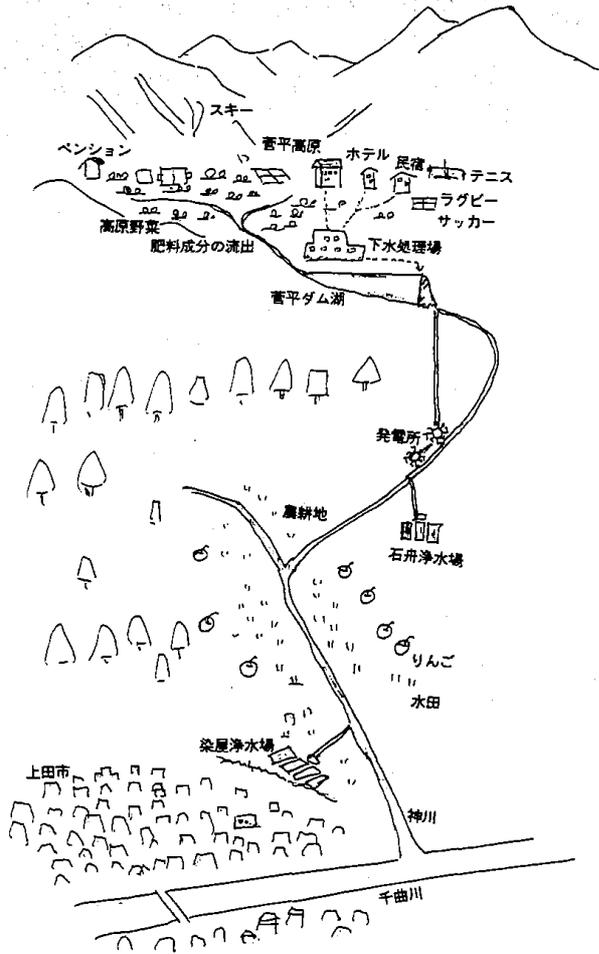


図9 上田市石舟浄水場および染屋浄水場とその流域最上流は観光地、高原野菜畑、中下流は農耕地の影響が強い。下水処理廃水がダム際に流入する。

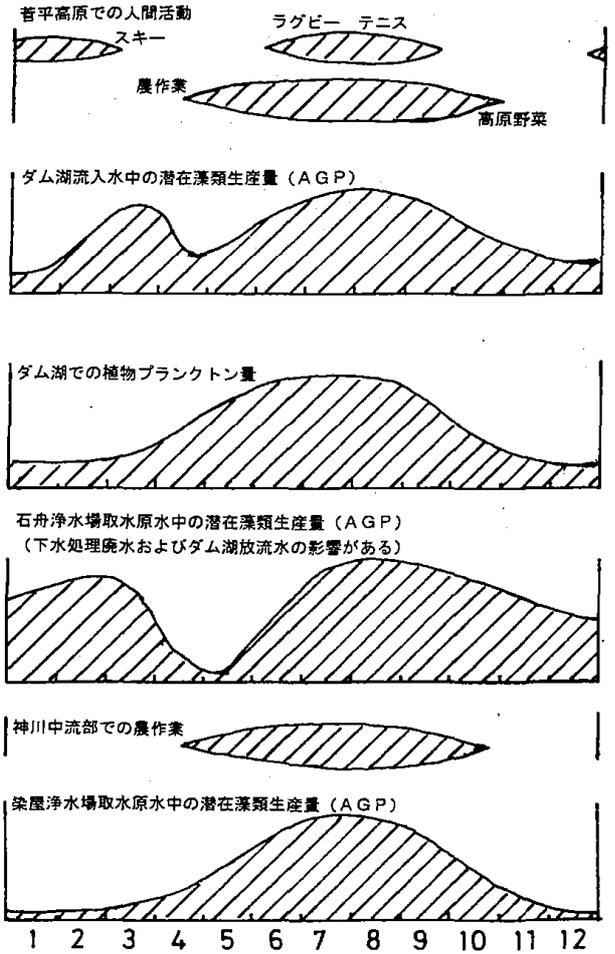


図10 菅平高原および神川中流部での人間活動、ダム湖での植物プランクトン量、河川水や浄水場取水原水中の潜在藻類生産量 (AGP) の季節変化の模式図。



写真17 菅平高原の野菜畑、冬はスキー場になる。著しい。近年はダム湖の深層水中には栄養の蓄積が著しいようである。秋の循環期は深層水が垂直混合するため表層放流をしているダム湖放流水中の栄養成分濃度が高くなるようであった。それらの時期の水は潜在藻類生産力が高いことから (中本ら1981、中本1983)、

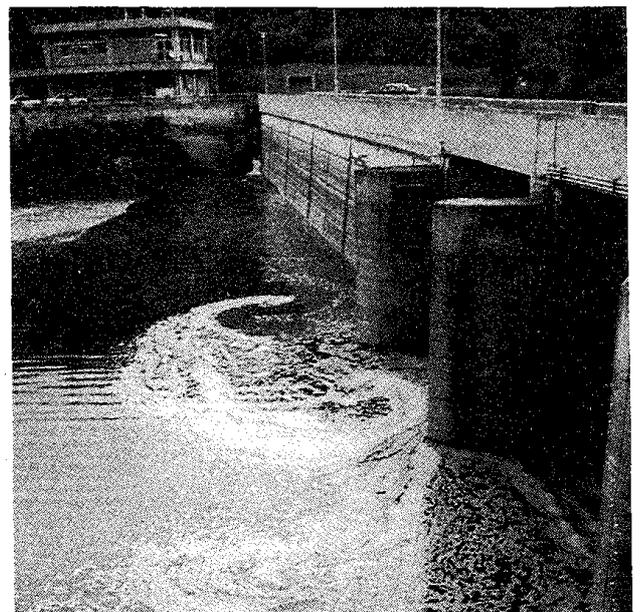


写真18 観光客が多いときは泡だった下水処理廃水が菅平ダム湖堰堤際へ流入することがある。

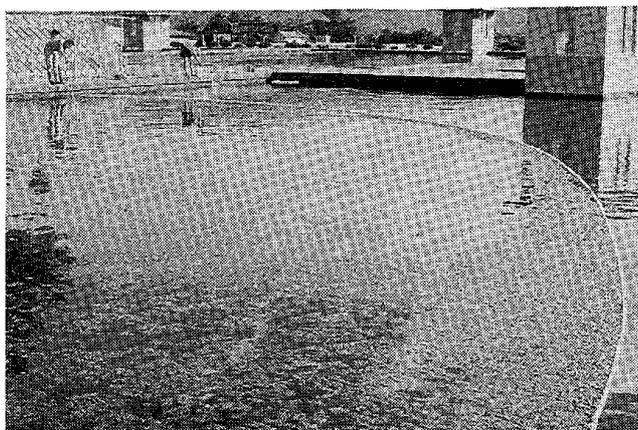


写真19 光合成の気泡により浮いてくる藻類被膜の刺し網（網目約2cm）による捕集。



写真20 浮上した藻類被膜は網目約1mmの玉ねぎネットで容易に収穫できる。

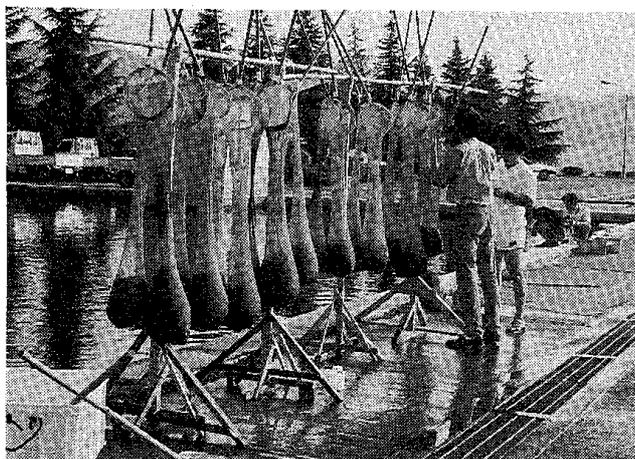


写真21 収穫した藻類の重量測定。

ろ過池での糸状藻類の繁殖を促進しているものと考えられた。

河川に排出されたし尿、下水処理廃水や家庭雑廃水などの有機汚濁物質は微生物により分解可能であり、農耕地から流亡する栄養物質は藻類が利用できる。緩速ろ過処理は生物が処理できる汚濁物質であるならば、かなりの汚濁負荷にも対処できることが石舟浄水場の調査でわかった。

また上田市染屋浄水場で流入してくる栄養物質を利用して夏期に藻類がどれだけ繁殖するかを実測してみた。毎日浮いてくる藻を網で捕集して重量を測定したところ、湿重量で1日平均173g/m²、乾燥重量で26g/m²、有機物量で7.8g/m²もあった（写真19-21、Nakamoto & Sakai 1992、中本・坂井1993a）。流入してくる栄養物質をかなり除去していることがわかった。この藻類による有機物生産量を各種生態系と比べると、熱帯森林の生産力とほぼ同等で、非常に高い生産力であった（中本1992）。剝離浮上する藻は活性の良い藻類であるので利用価値があると考え栄養分析をしたとこ

ろ、脂質が多く色素も多く、また各種活性物質も含有していると思われるので飼料価値があると考えられた。なお現在、建設省土木研究所ではダム湖での植物プランクトンブルームを抑制することを目的にし、緩速ろ過処理の原理を利用して糸状藻類を繁殖させて栄養物質を除去させる実験を行っている（丹羽・久納1992、丹羽ら1993、竹林1993）。

10. 緩速ろ過池での藻類繁殖の評価

一般にろ過池で繁殖する糸状藻類はろ過閉塞を防止するが、単細胞藻類が優占するときにはろ過抵抗を増加させるとされている（Huisman & Wood 1974、中本・坂井1991）。ろ過池で繁殖する藻類に関していろいろな評価がある。小島1967は緩速ろ過池で繁殖する藻類について英国の例で「糸状藻類はろ過池を詰まらせることはない」と指摘をしているが、「一般にろ過池内に糸状藻類が繁殖すると次の障害をおこす。①糸状藻類が枯死し、砂面上に密着、分解し粘着性をおびろ過抵抗を増しろ過閉塞させる。②多量の藻類が一度に枯死すると分解し異臭味を発生させる原因となる。薬品により殺した場合も同様である。③光合成により生じたろ過膜の一部が浮上し、ろ過膜が不均一になる。剝離した場所に汚泥が砂層中まで入りろ過効率が下がる。④ろ過池表面に浮上した藻類がボロ切れ状に漂い外観を損ねる」と説明した。また水道施設設計指針・解説（厚生省1977）では「水深が浅ければ藻類の発生により砂層表面の生物浄化の主体の生物ろ過膜が剝離しやすいため損傷される恐れがある」とされている。そこで藻類繁殖を抑えるために水深を深くするのが良いとされている場合もある。

上田市の緩速ろ過池で繁殖する藻類を観察した結果、

スカム排出機能の越流管が正常に機能している限りは、ろ過池は糸状藻類の連続培養系になり、ろ過池で繁殖した藻類がろ過池で死滅分解することはほとんどなかった。またろ過池で繁殖する藻類細胞を顕微鏡観察したところ活性の良い細胞がほとんどであった（中本・江連1989、中本・坂井1993b）。

光合成が盛んであると酸素の気泡が真綿状の藻類被膜の中や砂層表面に生ずる。この気泡は溶存酸素が過飽和であるために生ずる。大気と平衡状態の酸素分圧は約20%であるが、この気泡の酸素分圧を測定したところ、日中は50%近くになった。夜間はこの気泡の酸素分圧は徐々に下がることが観察された。このことは光合成ができない夜間は気泡から酸素が水中へ拡散することを意味し、藻類の光合成によって生産された気泡の酸素は夜間も砂層を好氣的環境に保つように働いていると考えられる。

緩速ろ過池で盛んに繁殖する藻類を越流管から連続的に除くことができれば、藻類は浄化者 (purifier) として期待できる。しかし、ろ過池で藻類が死滅・分解するならば、この効果は期待できない。藻類の呼吸・分解による酸素消費が増大し、砂層を嫌氣的環境にすることになる。また、臭気物質をも生産し、ろ過閉塞させる可能性がある。

藻類被膜の剥離面から果たして懸濁物質が砂層内へ浸入し、ろ過水までどれだけ漏出するかを調べてみた（岩瀬ら1993）。漏出割合は直径47mmのガラス繊維ろ紙でろ過水を約50~150リットルろ過し、藻類由来の懸濁物質を捕集しクロロフィル濃度を測定して調べた。その結果、ろ過水の濃度は原水の約100~1000分の1の濃度になり、この濃度は貧栄養湖の湖水濃度より少なく外洋の水深約100mの海水の濃度程度であった。また、砂層内の汚泥の分布を調べても、砂層深部へ汚泥が浸入することもなかった。糸状藻類群集や砂層での微生物群集が発達しているろ過池では、藻類被膜が剥離してもろ過水への懸濁物質の漏出は問題にならないことがわかった。

緩速ろ過池を藻類の連続培養状態に維持することが大切であり、この状態を維持するならば藻類繁殖は悪い事にはならない。藻類群集を活性の良い対数増殖状態に維持するためには、水深を1m前後と浅くし、光条件を良くする。また剥離浮上した藻類を越流管から常に排出させ、ろ過池の砂層表面には適度な糸状藻類の現存量を維持させるようにした方が良い。

また藻類を繁殖させないように、底まで光が届かないように水深を深くしたり、覆い蓋をした方が良く

考えることもある。この場合はろ過池内での有機物の無機化だけを期待する下水処理場での浄化作用と同じである。この場合は原水中の溶存無機物質まで除去できない。

殺藻剤、前塩素処理などにより生物繁殖を抑える行為をすれば藻類ばかりでなく、微生物までも活躍にくくなる。この場合は砂層の微生物による有機物の分解作用まで抑制されると考えられる。

11. 緩速ろ過処理の弱点は何か

従来、3章で述べてきた弱点の広いろ過池面積、人手がいる、濁質に弱い、水源悪化に対応できない、自動化が不向きなどについては日本では対処してこなかったのではないだろうか。

広い面積が必要とあるが、付帯施設を含めるとほとんど同じである。明治・大正時代のように、上流の良質の水源を求めるべきであり、その場所は土地代が廉価である。また普通は傾斜地であるので、自然の水位差を利用できる。しかし、水利権の問題で移転できない場合もあり、そのため極度に悪化（汚染）した原水を取水せざるを得なかったかもしれない。

労力、人件費が問題にされているが、機械化により解決できる。削り取り機械などの導入をしなかっただけである。

水源の濁質に弱い、プランクトンによるろ過閉塞しやすいと言われるが、緩速ろ過のろ過池だけでなく、前処理、2段ろ過（マイクロストレーナー、粗ろ過など）、凝集沈澱処理などで十分対処できる。

水道施設設計指針・解説（厚生省1977）、厚生省1982、丹保・小笠原1985によると清澄な原水を水源とする場合は原水の年最高濁度は10度以下であり沈澱池は不要で、集水域に荒地が少ない場合のように年最高濁度が10~30度の場合は普通沈澱池だけで十分であると記されている。また30度を越える濁度が続くようであれば、薬品処理可能な沈澱池を設置すれば緩速ろ過処理で対応できるとある（図11）。

実際には河川表流水を取水している高崎市若田浄水場の場合、台風時のこの範囲を越える一時的な極端な高濁度があっても普通沈澱池だけでろ過閉塞もしないとのことである。

有機汚濁やアンモニアの増大した原水を浄化するには、酸素を大量に必要とする。例えばアンモニア2ppmを硝化するには酸素6.8ppmが必要であるので、都市で極端に汚染された河川水は生物処理の緩速ろ過だけでは処理しきれない。また腐植物質などの難分解性物質

生物浄化法の緩速ろ過処理の見直し

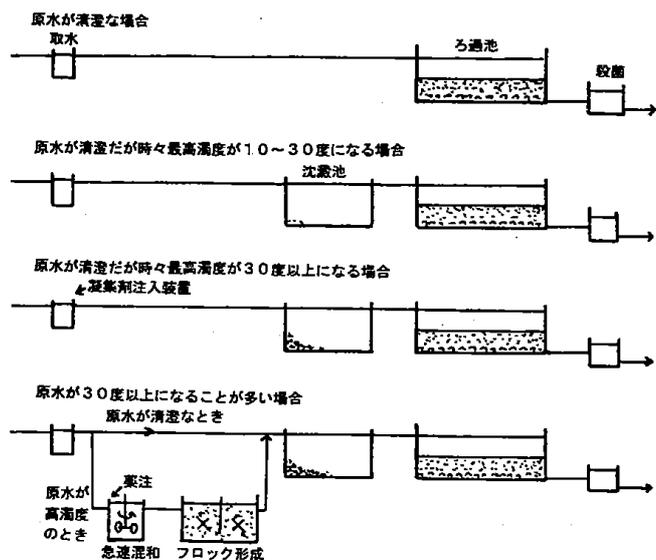


図11 原水状態の違いによる緩速ろ過処理の前処理。

も生物処理だけでは完全に分解するには時間がかかる。しかし、急速ろ過処理でも無理である。極度に汚染した原水に対して、緩速ろ過処理だけ、急速処理だけに頼ることは難しいことを認識しないとイケない。

また緩速ろ過処理は自動化しにくいとあるが、自動化をする必要がないほど単純である。事故が起こりようもなく安全である。現在の緩速ろ過処理による浄水場は明治・大正・昭和初期に建造されたのが多いが現在まで造り変えずに、古い計器のままで、安心して良質の飲料水を供給し続けている。

緩速ろ過処理が日本で見放されてきた大きな要因は維持管理が容易で事故が極端に少なく話題にならなかった点ではなからうか。

12. 水道水源の保全を

緩速ろ過処理は生物による浄化であるので、生物により分解可能な物質は分解し浄化することができる。非常にゆっくりとした速度で浄化するので、難分解性の物質まで緩速ろ過池の生物によって分解できることは表1に示したようにカビ臭や洗剤まで分解できることで証明されている。これらの物質は凝集沈澱処理で短時間で急速に処理する方式では容易に分解できないので問題になってきた。そこで、活性炭に吸着させたりして処理しようとしている。高度処理といっているの物理・化学処理および生物処理で何とか短時間で除去しようとしている。

生物分解できない農薬などは生物処理の緩速ろ過処理では取り除くことはできない。もちろん、急速ろ過処理でも対処できない。そこで高度処理をして取り除

く試みがなされているのである。現在は残留性の少ない、つまり生物で分解されやすい農薬が使われだした。このような農薬は時間をかけてゆっくりと生物処理をする緩速ろ過処理で分解できそうである。

水道法の水質基準（厚生省令）が平成4年12月21日公布され、平成5年12月1日施行された。健康に関する項目（29項目：表8）が大幅に増えた。また従来から基準として設けられているこれまでの病原菌や重金属汚染に加え、ハイクラス汚染物質や農薬に対する基準が設定されたのが大きな特徴である。さらに快適水質項目（表9）や監視項目（表10）も設けられた（八木ら1993）。この改訂は水源が悪化してきたからである。新たな水質基準が設けられ、汚染されてしまった原水を、安全な水道水にしようとしている。そのため高度処理の必要性が叫ばれている。しかし生物で処理できるような原水水質を保ちたい。生物分解できない毒物による水道水源の汚染だけは何とか避けたいものである。

日本以外の国では、蛇口からでる水道水の水質は安心して飲めるほど上等でない場合が多く、瓶入りの飲料水を飲むのが習慣の人々も多数いるようだ。海外旅行が普及し、日本にもこの習慣が入り、塩素臭のある水道水よりも瓶入りの水が好まれるようになった。なお、蛇足ではあるが欧米人は炭酸入りの水を飲む人が多い。これは瓶入り飲料水でも殺菌処理をしていない場合が多く、安心できないのである。炭酸ガスを添加し、水のpHを低くして細菌繁殖を防いでいる瓶入り飲料水を安全のために飲んでいる人々がいるということは日本人にはあまり知られていない。

もし飲料水は瓶入りというのが常識になってしまったら水道水源地域の汚染に無関心になってしまうのではないかと危惧している。海に囲まれ山地や森林割合が多い日本の環境では、まだ十分に生物処理で対処できる水道水源が得られると思われる。生物処理で対処できるように水源地域に関心をもち大切にしたい。

水道水に対し近年はトリハロメタンなどの発癌性が問題にされているが、この危険性について多少過剰反応であると考えている。塩素消毒により細菌汚染が防げ安全性が高くなったことにもっと理解を深めねばならない。近着の水道協会雑誌に「水道におけるリスク管理」と題する講演記事が掲載された（住友1993）。この記事の中には「水道水を一生飲用したときは、寿命を6時間から25日間短命にする」とある。この寿命短縮を各種要因と比べると危険性は非常に小さい事に気がつく。比較のためにアメリカの例が中心であるが松

表8 水質基準

◎健康に関連する項目 (29項目)

項目名	基準	備考
1. 一般細菌	1 mlの検水で形成される集落数が100以下であること	病原生物
2. 大腸菌群	検出されないこと	"
3. カドミウム	0.01mg/l以下	重金属
4. 水銀	0.0005mg/l以下	"
5. セレン	0.01mg/l以下	"
6. 鉛	0.05mg/l以下	"
7. ヒ素	0.01mg/l以下	"
8. 六価クロム	0.05mg/l以下	"
9. シアン	0.01mg/l以下	無機物質
10. 硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	10mg/l以下	"
11. フッ素	0.8mg/l以下	"
12. 四塩化炭素	0.002mg/l以下	一般有機化学物質
13. 1,2-ジクロロエタン	0.004mg/l以下	"
14. 1,1-ジクロロエチレン	0.02mg/l以下	"
15. ジクロロメタン	0.02mg/l以下	"
16. シス-1,2-ジクロロエチレン	0.04mg/l以下	"
17. テトラクロロエチレン	0.01mg/l以下	"
18. 1,1,2-トリクロロエタン	0.006mg/l以下	"
19. トリクロロエチレン	0.03mg/l以下	"
20. ベンゼン	0.01mg/l以下	"
21. クロロホルム	0.06mg/l以下	消毒副生成物
22. ジブロモクロロメタン	0.1mg/l以下	"
23. プロモジクロロメタン	0.03mg/l以下	"
24. プロモホルム	0.09mg/l以下	"
25. 総トリハロメタン	0.1mg/l以下	"
26. 1,3-ジクロロプロペン	0.002mg/l以下	農薬
27. シマジン	0.003mg/l以下	"
28. チウラム	0.006mg/l以下	"
29. チオベンカルブ	0.02mg/l以下	"

◎水道水が有すべき性状に関連する項目 (17項目)

項目名	基準	備考
30. 亜鉛	1.0mg/l以下	重金属
31. 鉄	0.3mg/l以下	"
32. 銅	1.0mg/l以下	"
33. ナトリウム	200mg/l以下	"
34. マンガン	0.05mg/l以下	"
35. 塩素イオン	200mg/l以下	無機物質
36. カルシウム, マグネシウム等 (硬度)	300mg/l以下	"
37. 蒸発残留物	500mg/l以下	"
38. 陰イオン界面活性剤	0.2mg/l以下	有機物質
39. 1,1,1-トリクロロエタン	0.3mg/l以下	"
40. フェノール類	0.005mg/l以下	"
41. 有機物等 (過マンガン酸カリウム消費量)	10mg/l以下	"
42. pH値	5.8以上8.6以下	基礎的性状
43. 味	異常でないこと	"
44. 臭気	異常でないこと	"
45. 色度	5度以下	"
46. 濁度	2度以下	"

表9 快適水質項目 (13項目)

項目名	目標値	備考
1. マンガン	0.01mg/l以下	色
2. アルミニウム	0.2mg/l以下	"
3. 残留塩素	1 mg/l程度以下	におい
4. 2-メチルイソボルネオール	粉末活性炭処理 : 0.00002mg/l以下 粒状活性炭等恒久施設 : 0.00001mg/l以下	"
5. ジェオスミン	粉末活性炭処理 : 0.00002mg/l以下 粒状活性炭等恒久施設 : 0.00001mg/l以下	"
6. 臭気強度 (TON)	3以下	"
7. 遊離炭酸	20mg/l以下	味覚
8. 有機物等 (過マンガン酸カリウム消費量)	3 mg/l以下	"
9. カルシウム, マグネシウム等 (硬度)	10mg/l以上 100mg/l以下	"
10. 蒸発残留物	30mg/l以上 200mg/l以下	"
11. 濁度	給水栓で1度以下送配水施設入口で0.1度以下	濁り
12. ランゲリア指数 (腐食性)	-1程度以上とし、極力0に近づける	腐食
13. pH値	7.5程度	"

生物浄化法の緩速ろ過処理の見直し

表10 監視項目 (26項目)

項目名	指針値	備考
1. トランス-1,2-ジクロロエチレン	0.04mg/l以下	一般有機化学物質
2. トルエン	0.6mg/l以下	"
3. キシレン	0.4mg/l以下	"
4. p-ジクロロベンゼン	0.3mg/l以下	"
5. 1,2-ジクロロペンバ	0.06mg/l以下	"
6. フタル酸ジエチルヘキシル	0.06mg/l以下	"
7. ニッケル	0.01mg/l以下	無機物質・重金属
8. アンチモン	0.002mg/l以下	"
9. ほう素	0.2mg/l以下	"
10. モリブデン	0.07mg/l以下	"
11. ホルムアルデヒド	0.08mg/l以下	消毒副生成物
12. ジクロロ酢酸	0.04mg/l以下	"
13. トリクロロ酢酸	0.3mg/l以下	"
14. ジクロロアセトニトリル	0.08mg/l以下	"
15. 抱水クロラール	0.03mg/l以下	"
16. イソキサチオン	0.008mg/l以下	農薬
17. ダイアジノン	0.005mg/l以下	"
18. フェニトロチオン (MEP)	0.003mg/l以下	"
19. イソプロチオラン	0.04mg/l以下	"
20. クロロタロニル (TPN)	0.04mg/l以下	"
21. プロピザミド	0.008mg/l以下	"
22. ジクロルボス (DDVP)	0.01mg/l以下	"
23. フェノブカルブ (BPMC)	0.02mg/l以下	"
24. クロルニトロフェン (CNP)	0.005mg/l以下	"
25. イプロヘベホス (IBP)	0.008mg/l以下	"
26. EPN	0.006mg/l以下	"

表11 各種要因による寿命短縮の平均値試算例

要因名	短縮日数
未婚 (男)	3,500
喫煙 (男)	2,250
心臓病	2,100
未婚 (女)	1,600
30%の体重増加	1,300
石炭の採石	1,100
癌	980
20%の体重増加	900
喫煙 (女)	800
卒中	520
危険な仕事 (事故)	300
パイプ喫煙	220
1日100calの食べ過ぎ	210
自動車事故	207
アルコール (米国平均)	130
家での事故	95
自殺	95
殺人に会う	90
薬の使用間違い	90
平均的な仕事 (事故)	74
溺死	41
放射線被曝の仕事	40
転落死	39
歩行者の事故	37
安全な仕事 (事故)	30
火災 (焼死)	27
エネルギー発生の仕事	24
不法薬による死	18
消防士の事故	11
自然の放射線	8
医療X線	6
コーヒー	6
経口避妊薬	5
すべての災害	3.5
ダイエット飲料	2
原子炉事故 (USC)	2
原子炉事故 (WASH 1400)	0.02
原子力産業での放射線	0.02

(松原1993)

原1993がまとめたものを表11に示す。給水栓からでる水道水の安全性はまだ十分に高いのである。

13. おわりに

この数年、自然の浄化力を上手に利用した緩速ろ過処理の魅力に引かれて研究をしてきた。事故もなく、安全で良質の水道水を供給し続けている緩速ろ過処理にもっと目を向けてもらいたい。近着の水道協会雑誌に「アメリカ水道界の浄水処理に対する最近の動向」

(河村1993) が掲載されたので紹介したい。

「1980年初めから中期にかけてオゾン処理以外問題解決手段がないという考え方が強かった。しかしオゾン処理に伴う発癌性物質の検出によりオゾン処理を既設の浄水場や新設浄水場に加えるのをためらっている。

原水水質が非常に悪い場合には最初に微生物処理によりアンモニア、異臭味、藻、有機物の除去を行い、次にオゾン処理を加えて急速ろ過処理をする。

現在米国ではUSEPAが勧めている方法は多量の凝

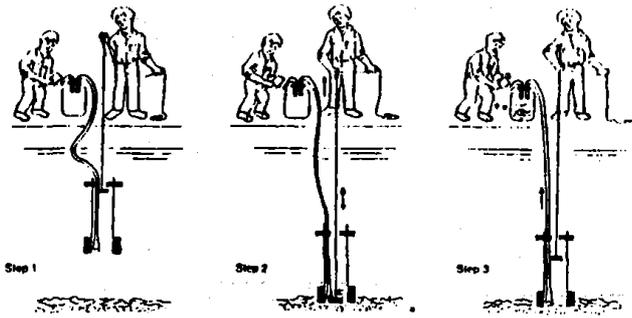


図12 アメリカ水道協会のOpflow誌に掲載された藻類被膜採取道具の使用法。

集剤を使用し多量の塩素注入により十分な殺菌を行うことである。この処理法は一見、理想的に見えるが、実際には浄水場の全溶解物質量を増加させると共に、汚泥処理を含める浄水処理費と浄水場の建設費を大きく増大させる。

理想的な処理方法は化学薬品処理の度を最小に制限し、自然界での自浄作用を行う微生物による前処理を十分に活用する事である。」

最近では欧米で緩速ろ過に関する各種報告や専門書が続々と出版され生物処理が見直されている (Huisman & Wood 1974, Huisman 1977, Visscher et al. 1987, Graham (ed.) 1988, Visscher et al. 1989, IRC 1990, Collins et al. 1989, Hendricks (ed.) 1991, Logsdon (ed.) 1991, Eighmy et al. 1993)。中本が工夫をした藻類被膜採取道具 (中本1988) をアメリカ水道協会の技術者向けの月刊誌Opflowに2ページに渡って紹介 (図12、Nakamoto 1993) したのもアメリカで緩速ろ過処理が見直されている証拠であろう。

また、最新のアメリカ水道協会雑誌(1993年12月号)も生物ろ過特集で緩速ろ過処理を取り上げている。実際アメリカOregon州では日給水量170,000m³や260,000m³もの大きな緩速ろ過処理による浄水場が近年になり建設されたり、緩速ろ過処理による小さな浄水場を次々と建設している (Logsdon & Fox 1988)。

最後に、新技术で近代的に見える急速ろ過処理が普及したが、安全性や質の面で良好な緩速ろ過処理を何とか見直さなければと思い本稿をまとめた。

筆者らの研究は上田市水道局の理解と協力により遂行できたことに感謝する。また高崎市水道局、長野市水道局、須坂市水道局にも浄水場の調査に協力してもらったことにも感謝する。また多くの各地の浄水場も見学させてもらった。さらに、多くの学生 (中田晴美、関根邦夫、上田智子、河村政彦、高橋俊明、北田卓也、

江連小百合、岩瀬範泰、刀裨弘之、野崎健太郎、伊師直之、木崎豊、安田光晴、吉野登美、田川衛、水島恵理) の協力があったから研究できたことを記したい。なお卒業研究の内容は学生により日本陸水学会甲信越支部研究発表会で発表してきた。その要旨は支部会報に印刷されている。発表題を文献末にあげたので参考にしてもらいたい。

14. 引用文献

- Collins, M.R., T.T. Eighmy, J.M. Fenstermacher and S.K. Spanos 1989 : Modifications to the slow sand filtration process for improved removals of trihalomethaneprecursors. 267pp. AWWA Res. Found.
- Eighmy, T.T., M.R. Collins, J.P. Malley Jr., J. Royce and D. Morgan 1993 : Biologically enhanced slow sand filtration for removal of natural organic matter. 164pp. AWWA Res. Found.
- 藤原啓助1987 : 浄水技術、水道協会雑誌 56 (10) : 65-71.
- Graham, N.J.D. (ed.) 1988 : Slow sand filtration-Recent developments in water treatment technology. 416pp. Ellis Horwood Ltd.
- Hendricks, D. (ed.) 1991 : Manual of design for slow sand filtration. 247pp. AWWA Res. Found.
- Huisman, L. & W.E. Wood 1974 : Slow sand filtration. 122pp. WHO, Geneva.
- Huisman, L. 1977 : Slow sand filtration for community water supply in developing countries. A selected and annotated bibliography. 50pp. IRC. Hague.
- IRC 1990 : Slow sand filtration, guide for training of caretakers. 54pp. IRC. Hague.
- 岩瀬範泰・坂井正・中本信忠1993 : 緩速ろ過池における藻類被膜の剥離とろ過水中の懸濁物質、日本陸水学会甲信越支部会報 19 : 37.
- 河村勸1993 : アメリカ水道界の浄水処理に対する最近の動向、水道協会雑誌 62 (12) : 48-59.
- 小島貞男1967 : 上水道の生物学 (2)、用水と廃水 9 (11) : 793-803.
- 小林康彦・鈴木繁1987 : 水源開発と水質保全、水道協会雑誌 56 (10) : 10-32.
- 小島貞男1968 : 清澄ろ過方式、34-83.(用廃水管理叢書編集委員会編、ろ過 (I) 清澄ろ過、391pp.工学図書。

生物浄化法の緩速ろ過処理の見直し

- 小島貞男1985：おいしい水の探求、207pp. NHKブックス.
- 厚生省1977：水道施設設計指針・解説、553pp. 日本水道協会.
- 厚生省1982：水道維持管理指針、655pp. 日本水道協会.
- 厚生省1990：水道施設設計指針・解説、714pp. 日本水道協会.
- Logsdon, G.S. (Ed.) 1991：Slow Sand Filtration. 240pp. ASCE (Amer. Soc. Civil Engineers).
- Logsdon, G. and K. Fox 1988：Slow sand filtration in the United States. 29-45. (in Graham 1988).
- 松井覚進1992：水、246pp. 朝日新聞社.
- 松原純子1993：水のリスク学事始めによせて（水道におけるリスク管理）、水道協会雑誌 **62** (11)：43-53.
- 中本信忠1978：バイオアッセイ法による水中の生物利用可能栄養物質の推定、下水道協会誌 **15** (172)：35-42.
- Nakamoto, N.：Evaluation of available nutritional matters in aquatic environments by use of heterotrophic activity. Verh. Internat. Verein. Limnol. **21**：719-723.
- 中本信忠・長島英二・大塚真澄・坂井正1981：菅平ダム湖における植物プランクトンブルームの発生機構について、水温の研究 **25** (3)：21-30.
- 中本信忠1983：水中の生物利用可能栄養物質の新しい水質評価法、水道協会雑誌 **52** (12)：14-28.
- 中本信忠1988：緩速ろ過池における藻類被膜の採取道具の試作、水道協会雑誌 **57** (10)：17-19.
- 中本信忠・江連小百合1989：緩速ろ過池ろ床藻類の繁殖過程および季節変化、水道協会雑誌 **58** (8)：17-37.
- 中本信忠・坂井正1991：緩速ろ過池における糸状珪藻とその連続培養の重要性、日本水処理生物学会誌 **27** (1)：33-38.
- Nakamoto, N. and M. Sakai 1992：Primary production of filamentous algae in a slow sand filter pond by harvest method. Proc. 6th Int. Symp. River and Lake Environment. Chuncheon, Korea. 371-374.
- 中本信忠1992：富栄養湖の諏訪湖における高い一次生産力について、生物科学 **44** (4)：183-190.
- Nakamoto, N. 1993：Schmutzdecke sampler reduces filter bed damage. Opflow **19** (7)：1-4.
- 中本信忠1993：緩速ろ過のメッカを訪ねて、水 **35** (1)：56-58.
- 中本信忠・坂井正1993 a：緩速ろ過池で繁殖する糸状藻類とその有効利用、水 **35** (13)：29-34.
- 中本信忠・坂井正1993 b：緩速ろ過池の藻類の役割—緩速ろ過池における糸状藻類の繁殖とろ過閉塞、249-252、土木学会衛生工学委員会編、環境微生物工学研究法、417pp. 技報堂出版.
- 日本水道協会1987：水道のあらまし、286pp.
- 日本水道協会1991：緩速ろ過池の管理状況に関するアンケート調査、水道協会雑誌 **60** (1)：84-85.
- 日本水道協会1993 a：水質管理に関するアンケート調査報告書、118pp. 日本水道協会 (1993.9.).
- 日本水道協会1993 b：果して浄水器は水道の敵か味方か、「第44回全国水道研究発表会水道フォーラム」速記録、水道協会雑誌 **62** (11)：76-92.
- 丹羽薫・久納誠1992：総合的な貯水池水質保全対策技術の開発、ダム技術 **75**：37-47.
- 丹羽薫・久納誠・大西実・山下芳浩1993：糸状藻類を活用した貯水池水質保全対策、土木学会水理委員会、工学論文集、**37**：1-6.
- 野崎健太郎・坂井正・中本信忠1992：菅平ダム湖での *Nitzschia holsatica* のブルームと石舟浄水場のろ過閉塞障害、日本水処理生物学会誌 **28** (2)：123-127.
- Redfield, A.C., B.H. Ketchum and F.A. Richards 1963：The influence of organisms on the composition of seawater. in Hill, M.N. (ed.), "The Sea II"：26-77, Interscience Publish. (半谷・小倉 1985：水質調査法、丸善)
- Sladeckova, A. 1991：The role of periphyton in water supply. Verh. Internat. Verein. Limnol. **24**：2174-2178.
- 信濃毎日新聞1985：藻類でろ過池の目詰まり防止、信濃毎日新聞1985年7月22日科学欄 (記事).
- 住友恒1993：上水の飲料リスク (水道におけるリスク管理)、水道協会雑誌 **62** (11)：39-43.
- 竹林征三1993：水の華 (アオコ) に挑む—画期的な水質保全手法の開発、ダム水源地ネット、1993年1月号4.
- 丹保憲仁・真柄泰基1983：トリハロメタン問題の発端とその経緯、1-9. (丹保憲仁編著：水道とトリハロメタン、273pp.) 技報堂出版.
- 丹保憲仁・小笠原紘一1985：浄水の技術、390pp. 技報堂出版.
- 東京都水道局1990：境浄水場概要パンフレット10p.
- Toms, I.P. and R.G. Bayley 1988：Slow sand filtration：an approach to practical issues. 11-28. (in Graham 1988).

- Visscher, J.T., R. Paramasivam, A. Raman and H.A. Heijnen 1987: Slow sand filtration for community water supply, planning, design, construction, operation and maintenance. 149pp. IRC. Hague.
- Visscher, J.T., S. Veenstra and A. Figeo 1989: Slow sand filtration, manual for caretakers. 69pp. IRC. Hague.
- Woodward, C.A. and C.T. Ta 1988: Developments in modelling slow sand filtration. 349-366. (in Graham 1988).
- 八木美雄・辻昌美・池田鉄哉1993: 水道水質に関する基準の制定と運用について、水道協会雑誌 **63** (3): 7-25.
- 日本陸水学会甲信越支部会報に発表したもの:**
- 中田晴美・関根邦夫・中本信忠1984: 上田市染屋浄水場における *Melosira varians* の有用性、**9**: 62-63.
- 上田智子・岡部晴朗・中本信忠1986: 緩速ろ過ろ床の *Melosira varians* の繁殖過程、**11**: 38-39.
- 河村政彦・北田卓也・中本信忠1987: 緩速ろ過池における藻類被膜に関する研究、1. 藻類被膜の光合成活性について、**12**: 11-12.
- 北田卓也・河村政彦・上田智子・中本信忠1987: 緩速ろ過池における藻類被膜に関する研究、2. 藻類被膜の発達過程および生産力の季節変化について、**12**: 13-14.
- 中本信忠・中田晴美1988: 緩速ろ過池の藻類被膜による水質変化、**13-14**: 33-37.
- 北田卓也・江連小百合・高橋俊明・上田智子・中本信忠1988: 緩速ろ過池における藻類被膜に関する研究、3. 現存量および生産力の季節変化を決定する要因について、**13-14**: 66-69.
- 江連小百合・北田卓也・高橋俊明・中本信忠1988: 緩速ろ過池における藻類被膜に関する研究、4. 藻類群集の季節変化について、**13-14**: 70-71.
- 北田卓也・中本信忠1989: 緩速ろ過池における藻類被膜に関する研究、5. 藻類被膜とろ過抵抗、**15**: 17-18.
- 野崎健太郎・岩瀬範泰・刀祢弘之・坂井正・中本信忠1991: 緩速ろ過池での収穫法による生物生産量見直しの試み、**17**: 19-20.
- 刀祢弘之・岩瀬範泰・野崎健太郎・坂井正・中本信忠1991: 緩速ろ過池のろ過閉塞指標としての標準損失水頭について、**17**: 39-40.
- 岩瀬範泰・刀祢弘之・野崎健太郎・坂井正・中本信忠1991: 緩速ろ過池における標準損失水頭の季節変化とその要因、**17**: 41-41.
- 伊師直之・野崎健太郎・坂井正・中本信忠1992: 緩速ろ過池ろ床のユスリカ幼虫の個体数変動について、**18**: 5.
- 木崎豊・岩瀬範泰・坂井正・中本信忠1992: 緩速ろ過池における砂層内汚泥の垂直分布について、**18**: 16.
- 吉野登美・野崎健太郎・坂井正・中本信忠1992: 貯水池を水源とした緩速ろ過池の藻類被膜について、**18**: 34.
- 安田光晴・野崎健太郎・坂井正・中本信忠1992: 緩速ろ過池における藻類被膜からの気泡生産を考慮した生産量の測定、**18**: 40.
- 岩瀬範泰・木崎豊・坂井正・中本信忠1992: 緩速ろ過池の水深と砂層内汚泥量の関係、**18**: 47.
- 野崎健太郎・坂井正・中本信忠1992: 石舟浄水場における7月のろ過閉塞障害と菅平ダム湖で繁殖した珪藻 *Nitzschia holsatica* の流入の関係、**18**: 48-49.
- 田川衛・野崎健太郎・坂井正・中本信忠・平林公男1993: 緩速ろ過池の藻類現存量変化とユスリカ幼虫量の変化、**19**: 4-5.
- 岩瀬範泰・坂井正・中本信忠1993: 緩速ろ過による有機物除去の能力について、**19**: 37.
- 水島恵理・野崎健太郎・田川衛・岩瀬範泰・坂井正・中本信忠1993: 緩速ろ過池における藻類被膜の種組成の季節変化とその要因、**19**: 42-43.

(受付 1994年1月6日)