

環境適応型の緩速ろ過が伝えるもの

坂井 正・中本 信忠

信州大学繊維学部応用生物科学科

MESSAGE OF SLOW SAND FILTER ADAPTED TO A REGION

Msashi SAKAI and Nobutada NAKAMOTO

Department of Applied Biology, Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University

Key word: 緩速ろ過、環境適応、藻類、ろ過池管理、原水汚染

slow sand filter, adaptation, algae, control of filter pond, pollution of raw water.

1. はじめに

浄水処理法として伝統を持つ緩速ろ過は、生物処理を基本とする浄水システムである。この処理システムは、4～5 m/日の遅いろ過速度でろ過池を運転することにより、ろ過池砂層に生物群集の定着、繁殖を促し、その生物群集の働きによって水質の浄化を行う。緩速ろ過は置かれた地域の水質および環境にあった生物群集の働きで浄化を行っており、地域の自然環境と一体となった浄化法と言える。この点から近年水道使用量の増大とともに普及した物理化学処理の急速ろ過と対比すると、急速ろ過は機械、緩速ろ過はその土地の顔を持った生物とすることができる。緩速ろ過は生き物であるが故に、機械である急速ろ過に比べると、時間当たりの処理水量は競うべくもないが、その有する生物群集の多様性によって自然と調和したきめ細かな処理が行える。環境に適応した緩速ろ過は、存在とその運転状況の良否が原水水質、集水環境を機敏に反映しているものとする。ここでは一般に見落されがちである緩速ろ過の持つ環境情報を概説したい。

2. 緩速ろ過の存在の可否が水源の良否を示す

水道水源の水質と浄水処理法の目安を定めたものに二つの環境基準がある。それは水道水源の水質環境基準(表1、厚生大臣諮問機関生活環境審議委員会1970)と公害対策基本法の第九条第一項の水質環境基準(表2a、2b)である。両基準ともに浄水処理法選択の目安は、①簡易な浄水操作によるもの、②通常の浄水

操作によるもの、③高度の浄水処理によるものの3ランクに分けて設定されている。ここでは緩速ろ過と急速ろ過の明瞭な区分は存在しないが、原水2類、水道2級以上の水質が緩速ろ過に望まれるものであり、これ以下の水質は物理化学処理を行う急速処理か高度処理でなければ対処できないものである。環境基準でみると緩速ろ過の適用は河川、湖沼ともにA類型以上の水質基準値となっており、人間活動の影響の少ない水質である。また緩速ろ過は水質管理上、年平均濁度10度以下、BOD 2 mg/l以下、大腸菌数1000MPN/100ml以下に用いる処理法となっており(日本水道協会1990)、急速ろ過に比べて対応する水質の幅は狭いが、処理の対象が汚濁の少ない水であることがわかる。上述の基準によって浄水処理法が規定されるものではないが、緩速ろ過は原則として汚染された水を対象としないことである。これは見方をかえると水源水質への対応力が小さいと見られるかもしれないが、緩速ろ過の存在がそのまま水源に対する安心感となる。

3. 緩速ろ過池の運転状況が水源の良否を示す

近年、富栄養化は止水域での藻類の異常繁殖を引き起こしているが、藻類に起因して起こる浄水上の障害は、ろ過水の異臭味、ろ過池の閉塞である。これらの障害は水源池で大量に繁殖した浮遊性藻類によって引き起こされることから、水源を湖水、貯水池にゆだねている場合は急速ろ過、緩速ろ過にかかわり無く生じる。しかし緩速ろ過では生物処理のおかげで異臭味はほとんど問題にならない。共通した障害は閉塞という

表1 水道水源の水質環境基準

項目	単位	1 類	2 類	3 類
硝酸性窒素及び 亜硝酸性窒素	mg/l	9 (硝酸性窒素)	9 (同左)	9 (同左)
塩素イオン	mg/l	—	—	180
有機物等	mg/l	BOD= 1 COD= 1	BOD= 2 COD= 2	BOD= 3 COD= 3
大腸菌群	MPN/100ml	50	1000	5000
シアンイオン	mg/l	検出不可	検出不可	検出不可
水銀	mg/l	検出不可	検出不可	検出不可
有機リン	mg/l	検出不可	検出不可	検出不可
銅	mg/l	1.0	0.1(S)1.0(R)	0.1(S)1.0(R)
鉄	mg/l	0.3(T)	0.3(D)	0.3(D)
マンガン	mg/l	0.05(T)	0.05(D)	0.05(D)
亜鉛	mg/l	1.0	1.0	1.0
六価クロム	mg/l	0.05	0.05	0.05
カドミウム	mg/l	0.01	0.01	0.01
ヒ素	mg/l	0.05	0.05	0.05
フッ素	mg/l	0.8	0.8	0.8
カルシウム	mg/l	—	—	300
マグネシウム等				
蒸発残留物	mg/l	—	—	400(D)
フェノール類	mg/l	—	—	0.005
陰イオン界面活性剤	mg/l	—	—	0.5
pH		6.5-8.6	6.5-8.6	6.5-8.6
色度	度	5	5	10
濁度	度	2	10	30(S)

(注) S：緩速ろ過、R：急速ろ過、D：溶解性、T：全量

ことになるが、降雨時の濁水と同様に、浮遊性藻類の繁殖は原水の懸濁物質の増大となることから、当然ろ過継続日数は著しく短縮する。特に濁水に比べやっかいなことは、前処理で沈降しにくいこと、粘質を有する藻類が存在することから、ろ過池へ流入されたとお手上げの状態となり、閉塞を起こした藻類を除去する以外改善策はない。すなわち藻類がろ過池の単なる異物として急激に砂層表面で堆積増大する時は浄水障害を生じる。

ろ過池の藻類量は堆積によって増加するだけでなく、繁殖によっても増加する。繁殖はろ過速度4～5 m/日の緩速ろ過池では可能であるが、ろ過継続日数が短くろ過速度が120～150mの急速ろ過池では難しい。すなわち、ろ過池内で繁殖することによって藻類量が増大するのは緩速ろ過池だけである。また増殖する藻類は付着性の糸状藻類が主体となる。緩速ろ過池で繁殖する藻類の障害として、外観が見苦しい、大量に増殖した藻類が死滅分解して閉塞、異臭味の原因となる等が言われている。結局のところ増えすぎることと、活性

を失った藻類が堆積物の増加に寄与することが障害となるようである。この様にろ過池が濁水以外に急速に閉塞したり、ろ過池内の藻類の繁殖が盛んになるのは、集水域の排水量の増加等に起因して富栄養化が進行したものと考える事ができる。いずれにしろろ過池管理において度重なる障害の発生は、集水域の汚濁が進行している一つの警鐘である。

4. 環境適応した緩速ろ過池生物の汚濁改善

長野県上田市には、1923年に作られた染屋浄水場とその後の拡張工事によって作られた石舟浄水場の二つの緩速ろ過処理法の浄水場がある。両浄水場ともに菅平高原を流れる神川の河川表流水を水源としている。両浄水場は共に晩春～初冬の期間、緩速ろ過池の砂層表面に糸状藻類が繁殖し、真綿状の被膜が形成される。上述したようにろ過池での藻類繁殖は原水が富栄養化したことを示しており、本来は望ましいことではないが、見方を換えるとろ過池生物が環境に適応した結果ともいえる。通常、藻類のろ過池での増殖は障害を引

表 2 a 生活環境の保全に関する環境基準（河川）

類型	利用目的 の適応性	水素イオン 濃度 (pH)	生物化学的 酸素要求量 (BOD)	浮遊物質 量 (SS)	溶存酸素 (DO)	大腸菌群数
AA	水道 1 級	6.5以上 8.5以下	1 mg/l以下	25mg/l以下	7.5mg/l以下	50MPN/ 100ml以下
A	水道 2 級 水産 1 級	6.5以上 8.5以下	2 mg/l以下	25mg/l以下	7.5mg/l以下	1000MPN/ 100ml以下
B	水道 3 級 水産 2 級	6.5以上 8.5以下	3 mg/l以下	25mg/l以下	5 mg/l以下	5000MPN/ 100ml以下
C	水産 3 級 工業用水 1 級	6.5以上 8.5以下	5 mg/l以下	50mg/l以下	5 mg/l以下	
D	工業用水 2 級 農業用水	6.0以上 8.5以下	8 mg/l以下	100mg/l以下	2 mg/l以下	
E	工業用水 3 級 環境保全	6.0以上 8.5以下	10mg/l以下	ごみ等の浮遊 がないこと	2 mg/l以下	

（注）水道 1 級：ろ過等による簡易な浄水操作を行うもの、水道 2 級：沈澱等による通常の浄水操作を行うもの、水道 3 級：前処理等を伴う高度の浄水操作を行うもの、環境保全：国民の生活において不快感を生じない限界

表 2 b 生活環境の保全に関する環境基準（湖沼）

類型	利用目的 の適応性	水素イオン 濃度 (pH)	化学的酸 素要求量 (COD)	浮遊物質 量 (SS)	溶存酸素 (DO)	大腸菌群数
AA	水道 1 級 水産 1 級	6.5以上 8.5以下	1 mg/l以下	1 mg/l以下	7.5mg/l以下	50MPN/ 100ml以下
A	水道 2、3 級 水産 2 級 水 浴	6.5以上 8.5以下	3 mg/l以下	5 mg/l以下	7.5mg/l以下	1000MPN/ 100ml以下
B	水産 3 級 工業用水 1 級 農業用水	6.5以上 8.5以下	5 mg/l以下	15mg/l以下	5 mg/l以下	
C	工業用水 2 級 環境保全	6.0以上 8.5以下	8 mg/l以下	ごみ等の浮遊 がないこと	2 mg/l以下	

き起こす原因とされ嫌われている。しかしこれらの浄水場では真綿状の被膜が形成されると、ろ過池のろ過継続日数は形成されない期間に比べ明らかに長くなる。また藻類の盛んな光合成は砂層微生物へ酸素付与を行

い、微生物群集の浄化を促進する（中本・坂井1992）。この浄水場のろ過池は、原水水質を反映した藻類繁殖が浄水処理に役立つ実例を示している。

ところでこの浄水場で藻類が役立った要因はなんで

あろうか。まず第一に、藻類被膜は繁殖の過程で砂層表面から剥離浮上し（光合成で産出される酸素に起因した気泡の浮力による）、越流管から池外へ流出することによって、砂層面上の現存量が適正に維持されたことが挙げられる。ちなみに繁殖の盛んな時期は一日当たり、ろ過池面積の3分の1の量が剥離浮上し続ける（Nakamoto and Sakai 1992）。この状態はろ過池が藻類の連続培養系になっていることを示しており、ろ過池藻類の活性が極めて高いことがわかる。第二に、繁殖した藻類の形状が糸状であり、砂層の通水空間を減ずるような平面的な増大繁殖を行わず、立体的に展開して真綿状の被膜を形成したことが上げられる。これは単に通水空間を減じないだけでなく、懸濁物質の捕捉面積を拡大して、単位面積当たりのろ過面への負荷を低減する効果がある。第三に、藻類の繁殖に伴い産出される酸素がろ過池生物の活性を高くし、ろ過池の代謝を促進したことが考えられる。

上田市の浄水場では藻類がろ過池の処理機能に有益に働いている。ところが塩素注入により藻類の繁殖を抑えている浄水場が存在する。理由は繁殖する藻類の現存量調節ができない構造であったり（越流管が機能しない）、水質汚濁防止法により繁殖した藻類をろ過池外（浄水場外）へ排出できないためである。緩速ろ過池では原水が富栄養化し、繁殖条件（光、水温、水流）が整えば上田市と同様に藻類の繁殖が起こる。原水水質に呼応してろ過池に繁殖する生物は、運転管理でその制御を行うことができるならば、管理上の問題は生じないと思う。

ろ過池での藻類の繁殖は、見方を変えれば緩速ろ過処理に栄養塩回収装置が付加されたものと考えることができる。環境適応型の緩速ろ過は、原水に呼応して自動的に水質改善が行われるようである。やはり緩速ろ過は生き物と呼ぶにふさわしい。現在、建設省は緩速ろ過の長所と藻類の栄養塩回収機能に着目し、これを貯水池の富栄養化防止へ実用化する取り組みを見せている（丹羽・久納1992）。

緩速ろ過池は原水水質と地理的な位置によって、生態および繁殖する生物が規定される。従来からその地域の水質および環境にあった生物の働きで浄化が営まれており、その地域の自然環境に即した浄化と言える。

また原水の汚染に対してもそれを補償すべく生物が機敏に反応する。これはその土地に結びついた生物処理であるがゆえに可能なことである。

5. おわりに

日本の水は大陸諸国に比べて降水量が多く島国であるがゆえに良質であった。しかし急激に産業が発達し、国民の生活レベルが向上すると共に水域は汚染され、飲料水源も例外なく影響を受けるようになっていく。浄水施設も水源水質の悪化により従来の処理では対処できなくなっており、高度処理の検討が盛んに行われている。緩速ろ過で処理が行える水源は、今だ自然の生物で処理が可能という証拠である。おそらく水源水質の変化によって生物相の変化が生じ、藻類は邪魔者か？などの論議の出る可能性はあるが、繁殖する生物をうまく利用したシステムが構築できる間は、原水水質の変化はさほど深刻な問題を提起することはないと推測する。しかし、緩速ろ過の生物が処理できない原水水質となった場合は、水源汚染が極めて深刻な状況に陥ったと認識し、原水水質の回復に努めなければならないと考える。また対処療法的に多量の薬剤とエネルギーを投資する技術だけで原水汚染に対処するのではなく、自然環境との調和を前提とした根本治療に真剣に取り組まなければならない。

6. 参考文献

- 厚生大臣諮問機関生活環境審議会答申1970.
- 公害対策基本法，生活環境の保全に関する環境基準，1982年環境庁告示第140号
- 中本信忠・坂井正 1992：緩速ろ過のろ過閉塞指標としての標準化損失水頭と藻類，日本水処理生物学会誌，28(1)，pp 7-16.
- 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. Korea, pp 371-374.
- 日本水道協会 1990：水道施設設計指針・解説.
- 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，pp 37-46.

（受付 1994年1月30日）