緩速ろ過池の藻類被膜の発達に及ぼす水深の影響

Effect of Supernatant Water Depth on Algal Mat Development in Slow Sand Filter

中本信忠、池田大介、田口香代、山本満寿夫

信州大学繊維学部応用生物科学科/〒386 上田市常田3-15-1

NOBUTADA NAKAMOTO, DAISUKE IKEDA, KAYO TAGUCHI and MASUO YAMAMOTO
Department of Applied Biology, Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University
/Ueda, Nagano 386, Japan

Abstract

The differences of algal mat development on the slow sand filter beds in shallow ponds (110 cm depth) and in deep ponds (171 cm depth) were studied at Wakata water works, Takasaki city. The algal mat development in shallow ponds was high growth rate and marked a high standing mass. This was remarkable in summer. Decrease of algal biomass was observed after the peak biomass on 10 days in shallow ponds. It was estimated that this decrease was caused by the grazing of Chironomidae larvae. Colony size of the length of filamentous diatom of *Melosira* was measured to evaluate the health condition of diatom. Empty shells and small numbers of colony were abundant in deep filter beds. And chlorophyll a content to total pigments of algal mat in shallow ponds was higher than that in deep ponds. It seems that active growth of filamentous diatom in a shallow filter pond keeps an aerobic condition in the filter bed.

Key words : depth, algal mat, slow sand filter, grazer, chironomidae

1. はじめに

生物処理の緩速ろ過法は、河川水、湖沼水、地下水などを緩速ろ過池で砂層、礫層で3～5 m^d⁻¹のゆっくりとした速度でろ過し水を浄化する方法である。このろ過池の砂層表面には、微生物群集の生物ろ過膜が形成され、有機物分解を担っていることが知られている。河川表流水を取水する上田市の緩速ろ過池では、砂層表面に糸状珪藻 *Melosira* が優占的に繁殖し藻類被膜を形成し、緩速ろ過池は糸状珪藻の連続培養系になる¹⁾。緩速ろ過池で糸状藻類の藻類被膜が発達するとろ過閉塞防止効果があることがわかった。この現象は砂層上に藻類被膜に発達し、ろ過閉塞物質である流入懸濁物質が藻類被膜に捕捉され、2段ろ過になり、この藻類被膜が光合成の働きで

気泡が生産され剥離浮上し、懸濁物質を捕捉したまま越流管から流出し、砂層への懸濁物質負荷を軽減させていた²⁾。また、緩速ろ過池での藻類被膜の発達は、水中に酸素を付与し、砂層を好氣的に保ち、砂層内の好氣的生物が活躍しやすい環境にすると考えられた。緩速ろ過池での藻類被膜の発達は微生物膜と共に水質浄化に有用であると考えられる³⁾。この緩速ろ過池の水深（未ろ水の水深）は80～120cmが標準水深とされている⁴⁾。しかし、ドイツで出版されている本⁵⁾には少なくとも1 m、1.5 mまでと記載されているように、日本各地の浄水場を調べると水深が深い緩速ろ過池もあった。これらの浄水場では水深を深くすると底に届く日射量を少なくしてろ過池の砂層上で藻類が繁殖しにくくなり、藻類被膜も剥離しにくくなり、ろ過池管理上良いという考えに基づいた

ものと思われる。

群馬県高崎市水道局の若田浄水場を1991年に調査したところ、全てのろ過池の水深が170cm程度であった。ろ過池で糸状藻類被膜が発達し、連続培養状態が維持されると、ろ過閉塞防止、流入懸濁物質除去による砂層への負荷軽減、栄養物質除去、光合成による酸素が多量に生産されることによる砂層内の従属栄養生物による分解活性促進という^{2,3)} 緩速ろ過池で繁殖する糸状藻類被膜の有用性についての考えを解説したところ、この浄水場では1991年よりろ過池を浅くする工事を行った。その結果、1993年には水深が110cm程度の浅い池と170cm程度の深い池が混在し、藻類被膜の発達に違いがあることが観察された。そこで、ろ過池の水深の違いに着目し藻類被膜の発達およびその季節変化について比較検討を行った。

2. 調査地の概要

調査は群馬県高崎市の若田浄水場（給水能力5,000m³のろ過池が10池）で、1994年5月から1995年5月まで行った。この浄水場は利根川水系である烏川の表流水を水源としている。調査を開始した1994年5月の時点で浅い池（水深110cm前後）、深い池（水深170cm前後）がそれぞれ5池ずつあった（Table 1）。

Table 1 Depth of supernatant water of shallow filter ponds and of deep filter ponds at Wakata water works, Takasaki city in May, 1994.

	Shallow pond	Deep pond
Depth(cm)	103	156
	105	164
	112	175
	114	180
	117	182
Average(cm)	110	171

3. 調査方法

ろ過池ろ床の藻類被膜は前法と同様に藻類被膜採取器⁶⁾を用い砂層表面の藻類被膜を1池につき10cm²を3カ所採取し、混合し試料とし、単位面積当たりのChlorophyll *a*量を求めた。藻類現存量の分析はUNESCO法を用いChlorophyll *a*を指標とした。Lorenzen法によりPheophytin *a*も測定した。また試料の一部を検鏡し、属ごとの細胞数を計数し、体積換算を行い全藻類中の属ご

との藻類割合を求めた^{7,8)}。

この浄水場のろ過池では糸状珪藻 *Melosira* が優占し藻類被膜の大部分を構成していた。*Melosira* は成長にともない長い糸状の群体を形成するようになり、成長が盛んなときほど細胞が連なり長い群体をつくる。本研究では *Melosira* 群体の活性状態を把握する目的で、細胞状態および連結した細胞の数により細胞質の入っていない殻だけの死細胞⁷⁾、1～5細胞、6～10細胞、11～30細胞、31～50細胞、51細胞以上の6段階に分け、*Melosira* 全群体に対する各段階の群体の占める割合を求めた。

4. 結果

ろ過池の水温は夏期には20℃以上になるが、冬期は5℃以下になった（Figure 1）。水温を考慮して調査した結果を5・6月を春、7・8月を夏、9・10月を秋、11月～3月を冬に分けて整理した。

4. 1 ろ過池ろ床の藻類現存量

浅い池と深い池のろ過継続にともなう藻類現存量の変化をFigure 2に示した。春から秋にかけて明らかに浅い池の方が藻類現存量は多かった。しかし、冬は藻類現存量の増加は少なく、水深の影響はほとんどなかった。水温の高い夏は浅い池ではろ過継続10日目頃には600mg Chl. *a* m⁻²にもなる場合もあった。また剥離浮上が著しくなり、スクラム排出用の越流管から浮上した藻類被膜の流出が観察された。そのため、砂層表面は剥離面と剥離していない場所が混在し、現存量の値が一定にならなかった。それ故、ろ過膜採取器は1度に10cm²を採取できるが、3カ所だけでは平均的藻類現存量を正確に把握するのは困難であった。夏の浅いろ過池では藻類の盛んな繁殖後、現存量は急に減少していった。深い池では藻類現存量は100mg Chl. *a* m⁻²を越えることがなく藻類被膜の発達は良くなかった。また、冬期は水深に関係なく、顕著な増加は見られなかった。

藻類被膜の活性を探索る目的で、浅い池と深い池のろ過継続にともなうChlorophyll *a*とその分解物のPheophytin *a*との和に対するChlorophyll *a*の割合の変化をFigure 3に示した。砂層表面の汚泥を削り取ったばかりのろ過開始直後は砂層内に侵入していた珪藻遺骸が砂層表面にくるので新たに繁殖する藻類の量よりも遺骸の割合が多いので⁷⁾ Chlorophyll *a*の割合は少ないが藻類被膜の発達にともなうChlorophyll *a*の割合は増えていた。また浅いろ過池ではChlorophyll *a*の割合は深いろ過池よりも含量

Figure 1 Seasonal changes of water temperature at Wakata water works, Takasaki city

が高く、この現象は夏と秋に顕著であった。夏の浅いろ過池では藻類被膜が減少し、*Chlorophyll a*の割合は少なくなった。

4. 2 藻類被膜の藻類相

砂層表面の藻類は種によって細胞の大きさが異なる。そこで藻類の優占割合を表すために、藻類を属ごとに計数し体積を換算して藻類現存量を容積で比較をした。各季節ごとにろ過継続にともなう藻類の優占割合の変化をFigure 4に示した。浅い池では春と秋にはろ過継続にともない *Melosira* の割合が増加し90%以上を占めるようになった。深い池では春は *Melosira* の割合が増加し90%以上を占めるようになったが、秋はその割合が小さかった。夏は浅い池では *Melosira* の割合はろ過継続中期までは増加しその後減少した。深い池では *Melosira* の優占の割合は小さく、大部分は *Melosira* 以外の藻類が占めていた。冬はろ過継続にともなう明確な変化は見られず、他の季節に比べ *Melosira* の割合は低く、*Melosira* 以外の藻類の割合が高くなっていた。

4. 3 藻類被膜中の *Melosira* 群体

この浄水場での優占藻の *Melosira* について、群体（糸状体）ごとにその細胞数を計数し、全藻類細胞数に占める、群体の長さ（細胞数）ごとの細胞数割合を調べた。季節ごとのろ過継続にともなう群体の長さの割合の変化をFigure 5に示した。

浅い池では春にはろ過継続初期に長い群体が見られるがその後減少し、夏は3日以降には短い群体と死細胞の割合が高くなっていた。秋はろ過継続初期に長い群体が増加し、後期には短い群体の割合が増加した。冬は中期から後期にかけて長い群体が形成されていた。

深い池では、夏は、浅い池と違ってろ過継続初期から長い群体が確認できず、細胞質が入っていない殻だけの死細胞が多かった。他の時期でも長い群体の割合は低く、死細胞や短い細胞の群体が多かった。

5. 考察

春から秋にかけては、ろ過開始から10日目頃までろ過継続にともない現存量は対数増殖し、藻類被膜中の *Melosira* の割合も増えていた⁸⁾。現存量の変化は *Melosira* が砂層上で繁殖することによると考えられる。夏の浅い池ではろ過継続後期に現存量の減少があり、春の深い池ではろ過を長く続けても現存量の増加が見られなかった。また夏の深い池では、*Melosira* の死細胞の割合が多く、*Melosira* の全細胞数に占める長い群体の割合が低かった。この現象は河川表流水を取水している上田市水道局の染屋浄水場の緩速ろ過池で観察されたのと同じで、緩速ろ過池では糸状珪藻 *Melosira* のみが優占して繁殖する環境である⁷⁾。深いろ過池の水面にはユスリカの脱皮殻が多数見られ、*Melosira* の細胞を捕食するユスリカ幼虫の繁殖が考えられた。ユスリカ幼虫を採取して顕微鏡観察し

Figure 2 Relationship between days of filter run and biomass of algal mat as chlorophyll *a* on the filter beds of shallow ponds and of deep ponds in 4 different seasons of Spring (May and June), Summer (July and August), Fall (September and October) and Winter (November, December, January, February and March)

Figure 3 Relationship between days of filter run and Chlorophyll α content to total pigments (Chlorophyll α + Pheophytin α) of algal mat on the filter beds of shallow ponds and of deep ponds in different seasons

Figure 4 Seasonal variations of algal composition in genus on the filter beds during filter run in shallow ponds and in deep ponds.

Figure 5 Seasonal variations of the ratio of different colony size in cell numbers to total cell numbers of the filamentous diatom of *Melosira* on the filter beds of shallow ponds and of deep ponds during the filter run.

たところ、腸管内に *Melosira* の細胞が充満しているのが観察でき^{9,10)}、ユスリカ幼虫による藻類被膜の被食の影響が考えられた。浅いろ過池では *Melosira* による藻類被膜が形成されると、1～2週間で自らの光合成の気泡(酸素)の浮力で剥離浮上し、スカムを排出させるための越流管からろ過池外へ自動的に流出する^{1,9,10)}。*Melosira* の連続培養状態の浅いろ過池では浮上してくる藻類被膜中のユスリカ幼虫も一緒にろ過池外へ排出されると考えられる。浅いろ過池では、水圧が低く光合成により気泡が生じやすく、藻類被膜は剥離浮上しやすい。そのためろ過池内のユスリカ幼虫量が少なくなり、その結果、ユスリカ幼虫による捕食量も少なくなると考えられる^{1,9,10)}。一方、深い池では砂層面に到達する日射量が少なく、藻類被膜の発達が悪い。さらに砂層面での水圧が大きく気泡が生じにくい、そのため剥離浮上も生じにくい。深いろ過池では浮上し流出する藻類被膜が少ないので、ろ過池内ではユスリカ幼虫量、捕食量とも浅い池よりは多いと考えられる。このことは藻類被膜の Chlorophyll *a* の割合の違いでも推察される。深い池では藻類被膜の発達が悪く、動物に捕食されるために Chlorophyll *a* の割合が小さくなったと考えられる。また砂層表面を削り取った直後のろ過開始時は藻類被膜が十分に発達していなく、測定された Chlorophyll は砂層内に侵入した藻類の死骸などがあるために Chlorophyll *a* の割合が小さいと考えられる⁷⁾。日射量が多い夏のろ過池では藻類被膜の発達速度が良いが、水温が高いためユスリカ幼虫の成長速度も早い。そのため浅い池では藻類の生長量をユスリカ幼虫の捕食量が上回り、藻類現存量の著しい減少が生じたものと考えられる。深い池では底まで到達する日射量が少ないので光合成活性が悪く、ユスリカ幼虫による捕食が大きく影響し藻類被膜の現存量の増加が見られなかったものと考えられる。

夏以外の季節でも浅いろ過池の方が藻類被膜の発達が良かった。浅い池の方が日射量が底まで到達しやすいのでろ過池で *Melosira* が繁殖しやすく、水温が低いので捕食動物の活性が鈍くなり、捕食圧が小さくなり、藻類量が増え群体の長い群体が多くなったと思われる。深い池で短い群体の割合が多いのは *Melosira* が繁殖しにくいので、短い群体や死細胞の割合が多くなったと考えられる。

6. 結論

水深が浅い方が糸状珪藻 *Melosira* の増殖速度が早く、剥離浮上も盛んになり、しかも現存量が多くなることが

わかった。浅いろ過池では連続培養状態になりやすいが、深いろ過池では糸状藻類の繁殖が悪く、藻類を捕食する水生昆虫ユスリカ幼虫の影響が大きいと考えられる¹¹⁾。

緩速ろ過処理は有機物分解能力および流入懸濁物質の除去能力が重要である。この能力は、砂層表面と砂層内の原生動物や輪虫などの働きが重要とされていて、これら生物が活躍しやすくするために好気的環境にする必要がある^{12,13)}。

ろ過池を浅くすると糸状藻類が繁殖しやすくなり、ろ過池に酸素を付与し、砂層を好気的に保つことに寄与していると考えられる。しかも、藻類被膜により流入懸濁物質の捕捉、藻類繁殖により流入水中の栄養塩の吸収があると考えられる^{14,15)}。しかしろ過池水深が深い場合は、糸状藻類被膜が生じにくく、動物により捕食されやすいと考えられる。

緩速ろ過池で藻類被膜が剥離しても汚泥は砂層内深くへは侵入せず、ろ過水へも懸濁物質は流出しないことから¹⁶⁾、緩速ろ過池で糸状藻類被膜が繁殖できる状況は緩速ろ過池にとって良い状態である。

謝辞：高崎市水道局には若田浄水場の調査許可をまた管理資料を快く見せてもらい感謝します。

【引用文献】

- 1) 中本信忠、坂井正：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 (1991)。
- 2) Sakai, M. and N. Nakamoto : Role of filamentous algae in a slow sand filter. Verh. Internat. Verein. Limnol. 25 : 1993-1995 (1994).
- 3) Nakamoto, N. : Schmutzdecke sampler reduces filter bed damage. Opflow (Amer. Wat. Wks. Ass.) 19(7) : 1-4 (1993)
- 4) 日本水道協会：厚生省監修、水道施設設計指針・解説、553pp、日本水道協会 (1977)。
- 5) Heber, G. : Simple methods for the treatment of drinking water. 78p. Friedr. Vieweg & Sohn Verlags., Braunschweige (1985).
- 6) 中本信忠：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 (1988)。
- 7) 中本信忠、江連小百合：緩速ろ過池ろ床藻類の繁殖過程及び季節変化、水道協会雑誌、58(659)：17-21 (1989)。
- 8) 中本信忠、池田大介、田口香代、山本満寿夫、野崎健太郎：河川を水源とする緩速ろ過池と貯水池を水源とする緩速ろ過池の藻類被膜の発達の違い、水処

- 理生物学会誌、33(2) : 81-90 (1997).
- 9) 伊師直之、野崎健太郎、坂井正、中本信忠、緩速ろ過池ろ床のユスリカ幼虫の個体数変動について、日本陸水学会甲信越支部会報、18 : 5、1992
- 10) 田川衛、野崎健太郎、坂井正、中本信忠、平林公男、緩速ろ過池の藻類現存量変化とユスリカ幼虫量の変化、日本陸水学会甲信越支部会報、19 : 4-5(1993).
- 11) Wotton, R. S., D. T. Chaloner and P. D. Armitage : The colonisation, role in filtration and potential nuisance value of midges in slow sand filter beds. 149-157. in N. Graham and R. Collins (eds.) Advances in slow sand and alternative biological filtration. John Wiley & Sons (1996).
- 12) Duncan, A. : The ecology of slow sand filter. In N. Graham (ed.) Slow sand filtration. Ellis Horwood Ltd. Chichester (1988).
- 13) Weber-Shirk, M. L. and R. I. Dick : Biological mechanism in slow sand filters. J. AWWA 89(2) : 72-83 (1997).
- 14) Nakamoto, N. and M. Sakai : Primary production by harvest method in a pond of a slow sand filter. Verh. Internat. Verein. Limnol. 25 : 1996-1998 (1994).
- 15) Nakamoto, N. M. Yamamoto, M. Sakai, K. Nozaki, N. Iwase, M. Yasuda, T. Kitada, and K. Hirabayashi : Role of filamentous diatom as an automatic pourifier in a slow sand filter. 139-148. in N. Graham and R. Collins (eds.) Advances in slow sand and alternative biological filtration. John Wiley & Sons (1996).
- 16) 岩瀬範泰、木崎豊、野崎健太郎、坂井正、中本信忠 : 緩速ろ過池砂層内の汚泥の垂直分布とその性状、水環境学会誌19 (12) : 1009-1014 (1996).
(受付 1997. 3. 17)
(受理 1997. 7. 3)