

1973年の上田市水道水の異臭味問題と前塩素処理と 緩速ろ過池の藻類被膜の発達

中本 信忠¹⁾・坂井 正^{1),2)}

¹⁾信州大学繊維学部応用生物科学科・²⁾現所属(財)新潟県環境衛生研究所

Odor problem and pre-chlorination at Someya waterworks in 1973 and algal mat development in slow sand filters in Ueda city

Nobutada NAKAMOTO and Masashi SAKAI

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

Abstract: Odor problem of tap water occurred in Ueda city in 1973. It was caused by the pre-chlorination of a pre-treatment of slow sand filtration. After stopping the pre-chlorination, odor problem disappeared. During the agricultural period, algal mat of filamentous diatom develops on the bed of slow sand filters. When slow sand filter became a continuous culture system of filamentous diatom in warm period, the filter did not easily clogged. However, the pre-chlorinated filter in 1979 was easily clogged. The development of algal mat in slow sand filters is beneficial.

要旨: 緩速ろ過処理で供給している上田市染屋浄水場の水道水に異臭味が生じ問題になったことが1973年頃あった。この原因は前塩素処理により異臭味物質が緩速ろ過処理により分解できなかったためと考えられた。前塩素処理をしなくなると、夏期はろ過池の砂層表面で糸状珪藻が盛んに繁殖し、藻類被膜ができるようになった。この藻類被膜には流入懸濁物質が捕捉され、ろ過閉塞防止効果があった。藻類被膜が光合成の働きにより底より剝離浮上し越流管より流出し、ろ過池は糸状珪藻の連続培養系になった。緩速ろ過処理はろ過池で糸状藻類を繁殖させることは良い管理であった。

Key words: slow sand filter, odor, chlorination, algal mat, filter clog
緩速ろ過処理, 異臭味, 塩素処理, 藻類被膜, ろ過閉塞

1. はじめに

近年は水道水源が富栄養化し、水源が悪くなったとして急速ろ過処理を導入したり、高度処理を導入しようとする浄水場が多くなった。長野県上田市は生物処理の緩速ろ過処理で水道水を供給している。上田市には市内の染屋浄水場と小県郡真田町に建設された石舟浄水場の2カ所に緩速ろ過処理による浄水場がある。両浄水場を調査してきたところ、石舟浄水場の方がろ過閉塞しにくく、ろ過効率が良かった。石舟浄水場は菅平高原から流出する原水を処理し、この高原は高原野菜の生産地としてまた観光地として有名である。高

原から流出する河川水は下水処理廃水の影響もあり、この河川は上流部の方が下流部より富栄養化している。上田市では菅平ダム湖が建設され、この湖水を利用するようになってから水道水に異臭味騒ぎがあったが、この原因は生物処理の基本を誤解した維持管理に原因があったと推定された。上田市の水源は富栄養化して悪くなり異臭味が生じたのでなかった。原水中に栄養があるところ過池で糸状藻類が発達し、ろ過閉塞を防止することがわかった。

2. 上田市水道水の異臭味問題の発生

上田市は大正12(1923)年より千曲川の水を染屋浄水場へ揚水し生物処理の緩速ろ過処理により水道水を

供給していた。水道需要の増加に対処するために、昭和43（1968）年10月に菅平ダム湖を完成した。ところが、ダム湖水を利用したすと、5、6月頃に水道水に異臭味が生じ問題になった。この原因はダム湖の富栄養化が原因であるという報告が昭和49（1974）年に出された（桜井ほか1974）。この報告ではダム湖の富栄養化は菅平高原の農耕地に施肥された肥料成分と観光客から排出されるし尿や雑廃水が原因であるとされた。ダム湖流入河川水の富栄養化原因物質の内、窒素成分は農耕地から、リンに関しては自然とし尿や雑廃水が主負荷であるとした。またダム湖での植物プランクトンの繁殖の主要因物質はリンであり、し尿や雑廃水中のリンを除去することでダム湖での植物プランクトン繁殖を制限できるとした。この報告を受け、菅平ダム湖直上に下水処理場が完成したが、ダム湖での植物プランクトンの繁殖程度は変わらなかった。中本は1976年以来菅平ダム湖での植物プランクトンブルームを研究し確かにリンが制限要因であることを確かめた（中本・長島1978a,b, 中本ほか1981, Nakamoto 1981）。リンの負荷はし尿や雑廃水でなく降雨時の農耕地から大量に河川に流入し、農耕地からの肥料成分がダム湖の富栄養化の原因であるとした。

一方、日本各地でも同じように水源池で富栄養化により植物プランクトンが繁殖し異臭味障害やろ過閉塞障害が生じていた。この異臭味問題は物理化学処理の急速ろ過処理により給水している浄水場にのみ問題になり、生物処理の緩速ろ過処理では異臭味物質は除かれているのがわかってきた。当時の上田市の場合は、生物処理であるにも関わらず異臭味物質の問題が生じ、水道原水は極度に悪いと考えられていた。

3. 浄水場での塩素処理

戦後の日本経済が急速に発展し、浄水処理は物理化学処理の急速ろ過処理に変更してきた。それと同時に水道水の異臭味問題が生じてきた。1960年代はどの浄水場でも取水している河川水の水質汚濁が著しく原水が悪く、塩素をろ過処理後の殺菌剤としてばかりでなく、酸化剤としても使うようになり、塩素を多量に添加して水質浄化処理をするのが一般的になっていた。急速ろ過処理では原水に塩素を添加するのが必須であるが、生物処理の緩速ろ過処理の浄水場でも原水に塩素添加をするようになった。

東京都水道局玉川浄水場では原水が悪くなったので、緩速ろ過処理をする前に、前塩素処理や活性炭処理をするようになっていた（東京生活者ネットワーク/東

京の水を考える会1990）。この浄水場では生物処理ができなくなり、原水中の腐食物質と塩素が化合して生じた物質に由来し、骨の発育が悪くなるカシンベック病症候群が昭和37（1962）年に問題になり、玉川浄水場では昭和45（1970）年取水を停止した。東京都で前塩素添加を盛んにするようになり、日本各地の緩速ろ過処理による浄水場でも、原水に塩素を添加する処理をするのが一般化した。しかし、生物処理であるので、前塩素処理はろ過池での生物活動ができないので誤解による処置であった。日本各地の緩速ろ過処理による浄水場を調べると現在でも原水に前塩素を添加して処理を続けている浄水場がある。

上田市でも水源が悪いとの事で、他の都市の浄水場での処理を手本にし1960年代から原水に前塩素処理をしてから緩速ろ過処理をしていた。そこで、ダム湖で生産された異臭味物質は生物処理で分解されずに異臭味問題に発展したと推測される。その後、昭和49（1974）年に米国で塩素処理と発ガン物質トリハロメタン生成が発表されて以来、水道での塩素処理が問題になり、日本でも前塩素処理を極力しないようになった。上田市でも日本でのトリハロメタン問題が生じてきたので、前塩素処理を中止してからは異臭味問題がなくなった。

4. 緩速ろ過池における糸状藻類被膜の発達

上田市染屋浄水場の緩速ろ過池では夏期は糸状藻類被膜が発達する。6月の藻類被膜の発達の様子を図-1に示した。ろ過池砂層表面上の藻類被膜は砂層表面削り取り後、最初の1週間は指数的に増加し、その後、藻類量はほとんど一定になった。この時期の緩速ろ過池は、砂層表面で糸状珪藻 *Melosira varians* が盛んに繁殖し光合成によって生産された気泡の浮力により

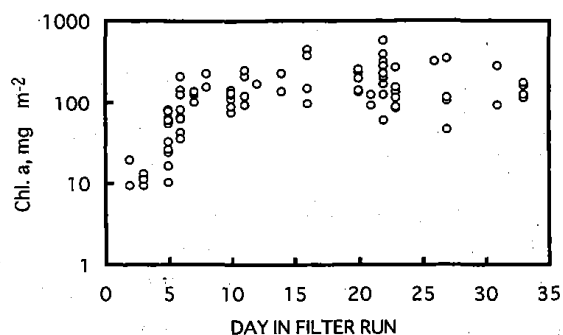


図-1 染屋浄水場におけるろ過継続に伴うクロロフィルa量で表した藻類被膜の発達の様子（6月）

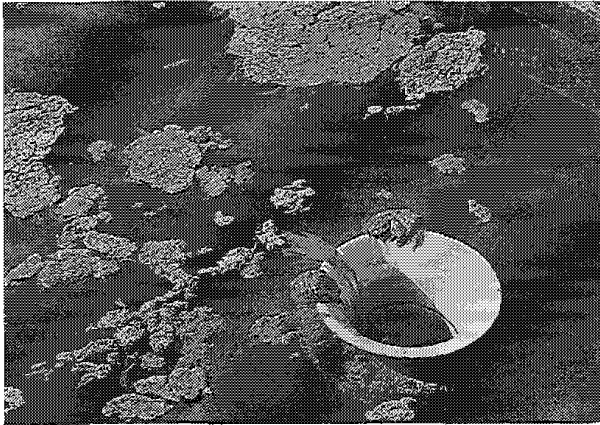


写真-1 剥離浮上した藻類被膜が越流管より盛んに流出する様子

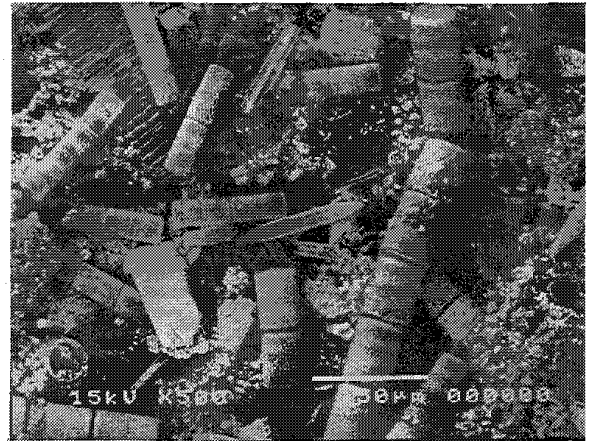


写真-2 浮上した藻類被膜の走査電子顕微鏡写真、糸状珪藻 *Melosira varians* が優先していた。藻類被膜には懸濁物質が捕捉されていた。

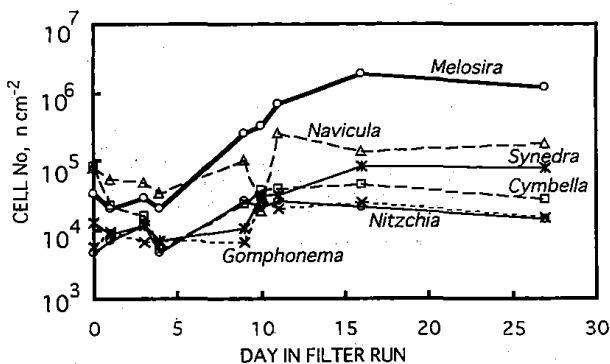


図-2 染屋浄水場におけるろ過継続に伴う種毎の細胞数で表した藻類被膜の発達の様子（7月）

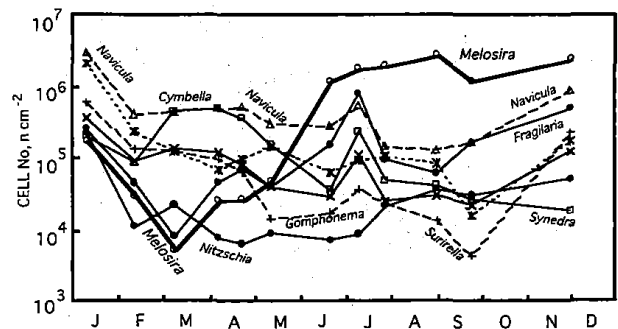


図-3 染屋浄水場におけるろ床の藻類被膜の季節変化

砂層面より剥離浮上する。浮上し水面に浮いていた藻類被膜はスクム排出用の越流管から盛んに流出しているのが見られた（写真-1）。

この時期の藻類被膜の発達状況を藻類相の変化（図-2）を調べると、最初は河床礫面で繁殖している付着珪藻群集と同じ種類が優先するが、すぐに糸状珪藻 *Melosira* が優先した。

染屋浄水場での藻類被膜の季節変化を調べると4月までは、*Navicula*, *Cymbella*, *Gomphonema*などの河床の礫面で良く観察される単細胞で生活する付着珪藻が主であり、5月からは糸状珪藻 *Melosira* が優占する（図-3）。冬期に見られる珪藻は河川から流入してきた種で、ろ床に単に堆積しているだけと推定された。水温が高くなり日射量も多い5月からは *Melosira* の藻類被膜は光合成により生産された気泡

の浮力により底から剥離浮上し越流管より盛んに排出されるのが観察される。剥離面には新たに藻類は繁殖する。ろ過池は糸状珪藻 *Melosira* の連続培養系になる。ろ過池で糸状珪藻 *Melosira* の藻類被膜が形成されろ過閉塞しなくなる。藻類被膜は流入懸濁物質を藻類被膜に捕捉し（写真-2）、懸濁物質を捕捉したまま剥離浮上し越流管から流出する機構があった。また、藻類が繁殖することは原水中の栄養物質をも吸収し藻類自身を形成する。さらに酸素を盛んに水中に放出し、砂層での従属栄養微生物の分解活性を高めていると推定された。生物活性が高い期間は糸状珪藻が良く発達することがわかった（中本1986, 中本・江連1989, 中本・坂井1991）。

5. 原水水質の季節変化

上田市染屋浄水場の直接の水源は神川の下流部の新

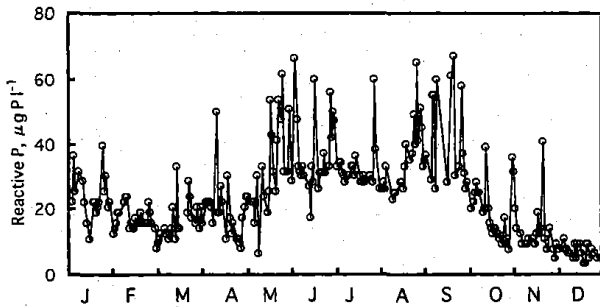


図-4 上田市染屋浄水場原水（神川表流水、新屋堰）中のリン酸態リン濃度の季節変化（1988年）

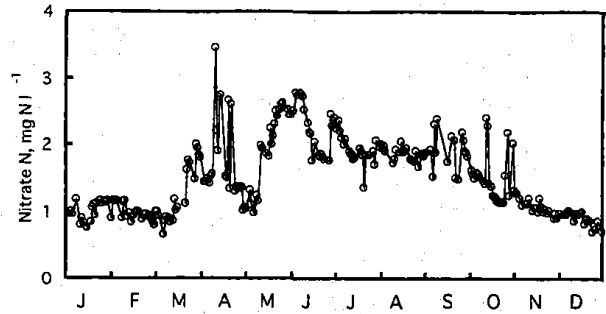


図-5 上田市染屋浄水場原水（神川表流水、新屋堰）中の硝酸態窒素濃度の季節変化（1988年）

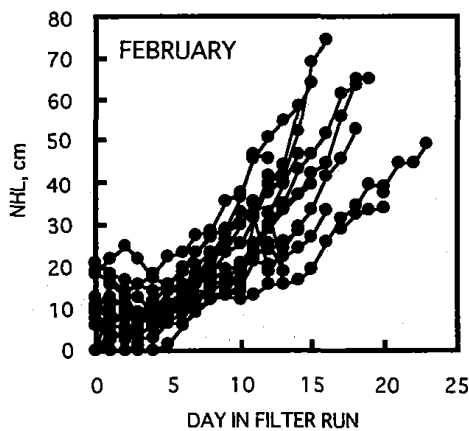


図-6 冬期（1990年2月）におけるろ過継続に伴うろ過抵抗（標準化損失水頭）の変化

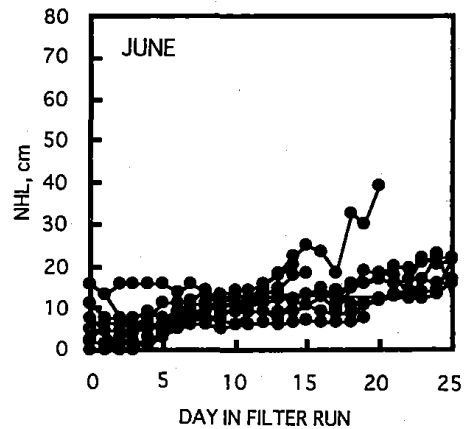


図-7 糸状珪藻 *Melosira* の藻類被膜の発達が著しい夏期（1990年6月）におけるろ過継続に伴うろ過抵抗（標準化損失水頭）の変化

屋地籍で河川表流水を取水している。この水のリン酸態リン濃度の1988年の季節変化を図-4に示した。4月までは $20\mu\text{gP/l}$ より少し低い濃度であり、5月から9月末までは $30\mu\text{gP/l}$ 以上であった。硝酸態窒素濃度の季節変化（図-5）は3月中旬までは 1mgN/l であるが、融雪時は一時的に濃度は高くなり、その後、農作業が始まる5月からは 2mgN/l 程度になる。河川水中の栄養塩濃度の高い期間は農耕作業の期間と一致していた。

染屋浄水場での藻類被膜は4月までは、*Navicula*, *Cymbella*, *Gomphonema*などの河床の礫面で良く観察される単細胞で生活する付着珪藻が主であり、5月になり栄養塩濃度が高くなると糸状珪藻 *Melosira* が盛んに繁殖し優占することがわかった。

6. 藻類被膜の発達とろ過閉塞

1990年2月におけるろ過継続に伴うろ過抵抗の変化

を標準化損失水頭の変化で図-6に示した。冬期は河川から流入してきた藻類がろ過池ろ床に堆積したと考えられた時期は直ぐにろ過閉塞した。しかし、糸状珪藻が発達する時期の6月は容易にろ過閉塞しなかった（図-7）。流入河川の神川の濁度は冬期は少なく、夏期は夕立などがあり濁度は高いが、ろ過池はろ過閉塞しにくかった。これは、前述のように剝離浮上する藻類被膜に流入してきた懸濁物質が捕捉され、取り除かれたためと考えることができる。

上田市では1980年まではろ過池で繁殖する藻類は悪いと誤解し、東京都玉川浄水場を見習い、前塩素処理をしていた。当時の1979年6月のろ過継続に伴うろ過抵抗の様子を図-8に示した。ろ過閉塞の進行具合は、冬期の2月よりも早くろ過閉塞していたことがわかった。当時の砂層表面状態は不明であるが、藻類被膜はほとんどなかったものと考えられる。前塩素処理により、藻類ばかりでなく、砂層での分解者の微生物も繁

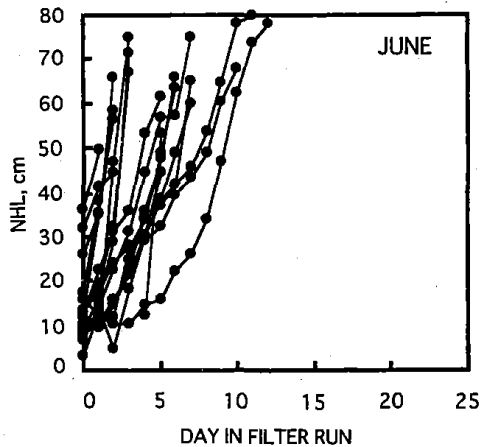


図-8 前塩素処理により藻類被膜の発達がない
夏期(1979年6月)のろ過継続に伴うろ過
抵抗(標準化損失水頭)の変化

殖できなかったと考えられる。当時は単に篩いでろ過するような状態であったと考えられる。そのため臭気物質も緩速ろ過池で分解されずに異臭味問題に発展したものと考えられる。

7. おわりに

1960年代は河川の水質汚濁、湖沼での富栄養化が問題になり、藻類繁殖は悪いという一方的な考えが一般的であった。しかし、緩速ろ過池で繁殖する糸状藻類は有用であった。上田市での水道水の異臭味問題は、生物処理の緩速ろ過処理に対する誤解処置に起因するものであった。日本各地の浄水場を見学するとまだまだ誤解処置に起因する事例がある。このような誤解は、原水が良いから、誤解処置をしても安全で良質な水道水を供給できたものと考えたい。しかし原水が悪くなり、急速ろ過処理では安全で良質な水道水が供給できないことがわかり、欧米では良質で安全な水道水を供給できる緩速ろ過処理に注目しだした。

米国では1974年のトリハロメタン騒ぎを契機に、生物処理の緩速ろ過処理の見直しが盛んである。アメリカ水道協会では1994年9月26-27日にOregon州Salem市で(中本1995)、1995年10月19-20日にはVermont州Rutland市で緩速ろ過研修会を開催した。緩速ろ過処理に関する国際会議が1988年11月23-25日に英国London市Imperial College大学で、1991年10月27-30日に米国New Hampshire州New Hamp-

shire大学で開催された。また本年1996年4月22-25日には英国とオランダで第3回の国際会議が開催され、世界中で生物処理の緩速ろ過処理に関心が向けられつつある。

日本でも新しい技術ばかりでなく、自然の仕組みを上手に利用した古くても本当に効率の良い処理を見直したいものである。

最後に、上田市水道局染屋浄水場の皆様には過去の管理資料を見せて頂き、また水道原水の採水の協力に感謝します。本研究に(財)新潟県環境衛生研究所から研究助成を受けたことに感謝します。

引用文献

- 桜井善雄・内田貞夫・渡辺義人・大井節男1974：菅平高原水質保全基本調査団報告書，31ページ，上田市東京生活者ネットワーク/東京の水を考える会1990：どうなっているの？東京の水，北斗出版，246ページ
- Nakamoto, N. 1981：Evaluation of available nutritional matters in aquatic environments by use of heterotrophic activity. Verh. Internat. Verein. Limnol. 21：751-755.
- 中本信忠1986：緩速ろ過における糸状藻類の有用性，水道協会雑誌，55(3)：19-21.
- 中本信忠1995：アメリカ水道界の緩速ろ過処理に対する再評価，日本水道協会雑誌，64(5)：18-22.
- 中本信忠・長島英二1978a：菅平ダム湖における春の植物プランクトンのブルームについて，水温の研究，22(2)，14-23.
- 中本信忠・長島英二1978b：貯水池における流入，流出水の水質評価—MBOD法による測定，用水と廃水，20(7)，60-64.
- 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・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，57(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.

(受付 1996年2月23日)