

# 藻類の有効利用

坂井 正\*

## 1 はじめに

富栄養化による藻類の異常増殖が利水障害を引き起こすとして、日本では今から三十年前頃から社会的な問題となっている。水源地における藻類の増殖は利水面から見ると濾過閉塞、異臭味等の障害を発生させるなどの問題はありますが、我々生物屋からみると、藻類の増殖は人間が負荷した水界の栄養塩を回収するフィードバックシステムが機能したものであり、この増殖した藻類を増殖の場から回収し、利用するシステムを作ることができれば富栄養化問題は解決するのではないかと考える次第である。

現在、人間が藻類の増殖を利用しているものとして、クロレラ、ドナリエラ、スピルリナ等の微細藻類の大量培養が上げられるが、このシステムは有機資材生産が目的であり、水質浄化という考えは存在しない。本文は、浄水処理システムの中で藻類の役割を理解し、藻類を有効に活用している事例を紹介するとともに、藻類を利用した水源地の富栄養化防止対策の事例を紹介する。

## 2 浄水場で働く藻類

現在、我々が上水道から得ている水は、原水の濁質を取り除き、消毒されたものである。原水が清澄であれば、消毒だけで給水される。原水が濁りを有する場合は、濁質の沈降分離及び砂濾過の手法がとられる。砂濾過には緩速濾過と急速濾過の2つの方式がある。緩速濾過は名前のごとく水を一日4～5 m（一分に2～3 mm）のゆっくりした速度で濾過するものであり、急速濾過は一日100～200m（一分に70～140mm）の速度で濾過を行うものである。ところが単純に砂濾過による濁質除去といっても、急速濾過と緩速濾過は処理方式において大きな違いがある。それは急速濾過は濁質除去を主体とした機械的な処理であるのに対して、緩速濾過は濾過池の砂の表面に形成される生物膜を利用して水中の濁質と溶存物質を除去する生物処理である。

緩速濾過池は屋外にあり、水深が1m程度であることから、濾過池の砂層表面まで十分に光が到達し、原水に栄養塩（窒素0.1mg/l以上、リン0.01mg/l以上）が存在すれば、光合成生物の繁殖が可能である（図-1）。緩速濾過地の砂層表面には通常湛水後数日で生物被膜（バクテリア、糸状菌、藻類、原生動物、小動物）が形成される。特に藻類は生物被膜の優占生物となり濾過地の使用日数の経過とともにその現存量を増大させる。

長野県上田市には河川表流水を水源とする緩速濾過処理の浄水場がある。この浄水場の濾過池では毎年水温が10度を越える5月から11月の間は砂層表面に糸状藻類が繁殖する（写真-1,2,3）。

今から25年前、この藻類の繁殖を抑えるために5月から前塩素注入（原水取水直後の注入）を行っていた。当時は富栄養化問題が華やかな頃であり、浄水処理において藻類＝障害という認識が強かったために、生物被膜の力で浄化を行っている緩速濾過池においても藻類の増殖を抑えるため、前塩素の注入を行っていた。ところが塩素の注入により確かに藻類の増殖は抑えられたが、塩素注入を行っている期間の濾過継続日数は短くなった。

\* (財)新潟県環境衛生研究所

すなわち濾過池が閉塞しやすくなってしまったのである。1974年アメリカで塩素消毒による発ガン性物質のトリハロメタン生成が問題となり（丹保、真柄 1983）、上田市の浄水場では前塩素処理を取りやめた。その結果、藻類は増殖するものの濾過継続日数はのびるという皮肉な結果となった。信州大学中本教授と筆者はこの現象に興味を持ち、緩速濾過池における藻類の役割を研究することとなった。

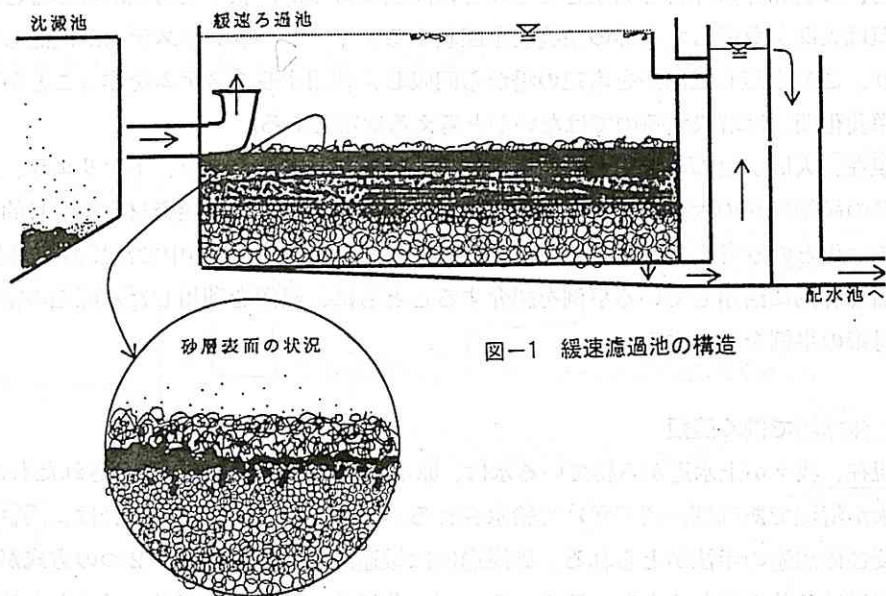


図-1 緩速濾過池の構造



写真-1 ろ床に真綿状に発達した藻類被膜



写真-2 光合成による気泡により浮上しようとする藻類被膜



写真-3 顕微鏡でみた藻類被膜

研究の結果、緩速濾過池で繁殖する藻類は糸状藻類が主体であり、砂層表面に真綿状の被膜を形成することが確認された。この糸状藻類の被膜は砂層表面で濁質を立体的に捕集し、濾過砂の目詰まりを防止する効果があり、また盛んな光合成により産出される酸素が砂層に生息する微生物の分解活性を促すことから、有機物等の除去効率が上がることが確認された。さらに産出された酸素の気泡を被膜に抱えることにより、砂層表面から剥離浮上し、濾過面の更新がなされることも確認された。濁質を吸着して剥離浮上した藻類は、ごみ、余剰水などを排出するために設置された越流管から濾過池外に出る（写真-4）ことから、濾過池の砂面は濁質負荷を低減でき、長期にわたり濾過が可能となることが分かった（中本、坂井 1991、1993）。またこのときの濾過池内は藻類の連続培養系となり、生物処理の緩速濾過池としては理想的な状況になっていることがわかった。

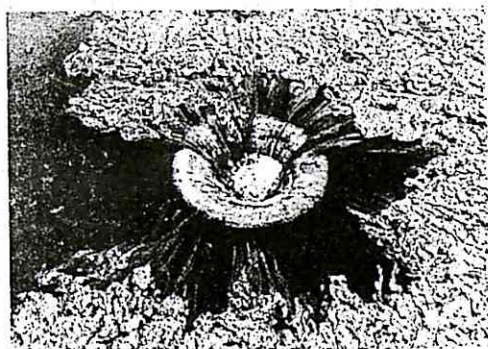


写真-4 越流管から流出する藻類被膜

ところでこの糸状藻類の生産力は高く、繁殖の最盛期である6月から7月の初旬は面積780m<sup>2</sup>の池から毎日湿重量で200kg近い浮上量があった（写真-5、6）。浮上した藻類の成分を分析したところ（表-1、2、3）カロチノイドの含有量が多く、また他藻類に比べ脂質の割合が高かった。さらにこの点に着目して脂肪酸の分析を行ったところ、血栓症予防に有効なEPA（エイコサペン酸）、脳の発育を促すDHA（ドコサヘキエン酸）の存在が確認され、生物資源としてきわめて有効であることがわかった（坂井、中本 1992）。

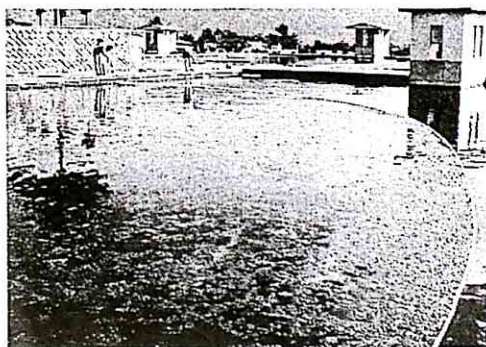


写真-5 浮上した藻類被膜の捕集作業

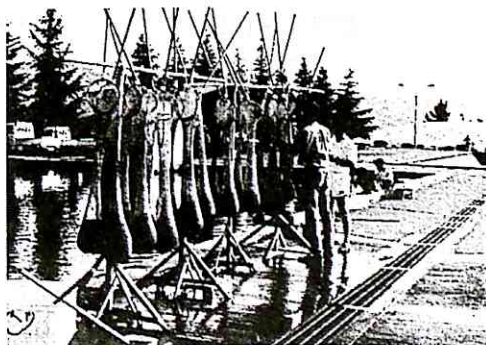


写真-6 捕集した藻類被膜量の測定

表-1 藻類の乾物当たりの栄養成分割合 (%)

	水分	蛋白質	脂質	糖質	繊維	灰分
糸状藻類	6.9	9.0	3.8	16.0	0.8	63.5
水前寺海苔	11.5	21.5	0.1	52.4	1.1	13.1
川海苔	8.5	38.1	1.6	41.6	5.1	5.1
甘海苔	11.1	38.8	1.9	39.5	1.8	6.9
青海苔	7.3	18.1	0.3	53.9	6.3	14.1
わかめ	13.0	15.0	3.2	35.3	2.7	30.8

表-2 藻類の主要栄養素だけの組成割合 (%)

	蛋白質	脂質	糖質	繊維	炭水化物
糸状藻類	30.4	12.9	54.1	2.70	56.8
水前寺海苔	28.9	0.1	69.5	1.5	71.0
川海苔	44.1	1.9	48.1	5.9	54.0
甘海苔	47.3	2.3	48.2	2.2	50.4
青海苔	23.0	0.4	68.9	8.0	76.6
わかめ	26.7	5.7	62.8	4.8	67.6

表-3 糸状藻類の栄養成分分析結果

分析項目	分析結果	単位
水分	6.9	g/100g
蛋白質	9.0	g/100g
脂質	3.8	g/100g
糖質	16.0	g/100g
繊維	0.8	g/100g
灰分	63.5	g/100g
ビタミンA	3 未満	μ g/100g
カロチン	42000	IU/100g
A効力	23000	mg/100g
ビタミンB 1	0.08	mg/100g
ビタミンB 2	0.2	mg/100g
ビタミンC	29	mg/100g
カルシウム	498	mg/100g
カリウム	398	mg/100g
リン	124	mg/100g
鉄	763	mg/100g
マグネシウム	247	mg/100g
ナトリウム	31	mg/100g

藻類が繁殖することは、太陽エネルギーを利用して水中の炭酸ガスと水とで有機物を合成することである。生産される有機物は炭水化物だけでなく、流入してくる溶存栄養物質も同時に取り込み藻体を形成する。言い換えれば冒頭で述べたように、藻類は太陽エネルギーを利用して原水中の栄養物質を除去するという高度処理（三次処理）をも行っているわけである。

浄水の障害生物と考えられていた藻類が実は管理方法により濾過閉塞防止効果があり、かつ被膜生物の浄化能力を高め、栄養物質を除去する高度処理を行っていることがわかり、現在、この浄水場では施設見学者に藻類の働きを啓蒙する掲示をおこなっている（写真-7）。

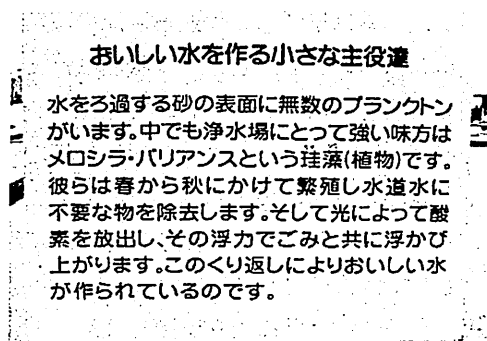


写真-7 藻類の働きを解説する掲示

ところでこの浄水場では浄水処理に藻類が有効であることを認識し、処理システムに藻類を組み込んではいるが、資材として利用する考えはない。浄水場では凝集沈殿によって得られる汚泥を含め、原水から回収された物質を利用するシステムは組み立てられていない。循環型の社会システムが謳われる中、新たな浄水システムの構築が望まれる。

### 3 藻類を利用した富栄養化防止対策（藻類をもって藻類を制す）

建設省土木研究所はこの緩速濾過池の藻類の働きに着目し、糸状藻類を利用した浄化システムを提案し、その実用化に取り組んでいる。その詳細については丹羽、久納（1994）、久納（1994）、竹林（1995）を一読いただくこととし、ここではその概要を紹介する。

建設省は総合的な富栄養化対策の新しい構図として次の4グループ9システムを富栄養化対策システムとして上げている。

#### 1) 流入河川からダム湖へ供給される栄養物質を削減する

糸状藻類活用システム

落葉回収システム

流入水迂回システム

小洪水貯留システム

2) 湖内の流動を制御して浮遊藻類が生息しにくい環境とする

流動制御システム

水温分布制御システム

3) 湖内の浮遊藻類そのものを除去する

軽石ろ過システム

ヨシ原浄化システム

4) 生態系を制御して浮遊藻類が異常増殖しにくい環境とする

生態制御システム

この中で糸状藻類活用システムは筆者らの緩速ろ過池の藻類の研究からヒントを得て構築したものである。当システムで活用される糸状藻類は、淡水藻類の中で増殖速度が大きく、付着または堆積した状態で増殖し、回収が容易であることが特徴である。糸状藻類は付着及び堆積基盤と流れを起こすことにより、選択的に増殖させることが可能である(図-2)。具体的にはダム湖の流入部に繁殖基盤を設置し、流入する栄養塩の低減をはかるものである。現在のところ増殖した糸状藻類を資源として活用することに関しては研究中であるが、システムとしては検討されている。またダム湖内に糸状藻類が生活できる基盤を浮かべ、それに流れを起こすことにより繁殖を促進して、浄水処理で問題となる浮遊藻類を抑制する検討も行われている。なおそれについては上記4)の生態系制御システムにその成果の一部が盛り込まれている。

現在、建設省所轄のダムにおいてこれらシステムの運用がすでに始まっており、その成果を期待するところである。



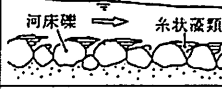
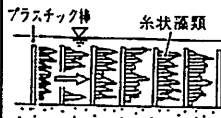
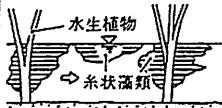
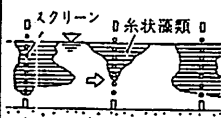


糸状藻類が自然界で生息している環境	適する糸状藻類	糸状藻類活用システムの浄化設備の模式図	流況
① 河川上流の渓流 	ノロシラ、ディATOM、カワシオグサ、サヤミドロ、アオミドロ、ヒビミドロ、キヌミドロ、トゲナシツルギ	① 急勾配水路タイプ 	流速 30~50cm/s 水深 1cm以内 水路勾配 20~40%
② 河川中流の浅瀬や水路 	サヤミドロ、アオミドロ、ヒザオリ、ヒビミドロ、ノロシラ、オビケイソウ	② 緩勾配水路タイプ 	流速 10cm/s 水深 10cm 水路勾配 0.5~1%
③ 浅い湖沼や水田 	サヤミドロ、ヒザオリ、アオミドロ、アオミソウ、アミミドロ	③ 水平水路タイプ 	流速 12cm/min 水深 20cm 水路勾配 なし
④ 浄水場の緩速ろ過池 	ノロシラ、オビケイソウ、アオミドロ、アミミドロ、ヒザオリ、サヤミドロ、アオミソウ	④ 網透過タイプ 	流速 18cm/h 水深 30~40cm 水路勾配 なし

図-2 糸状藻類の自然界での生息環境と糸状藻類活用システム

(丹羽、久納 1994: ダム技術から引用)

#### 4 終わりに

緩速ろ過を含め、生物の繁殖を利用して水質浄化をはかるシステムは幾つかあるが、いずれも繁殖した生物の利用を組み込んだ処理システムではない。環境基本計画に謳われている循環型社会を目指すには、まず生物処理から循環型システムを構築しなければならないと考える。また富栄養化で藻類が増えたことを憂うのではなく、増えた意味を理解し生態系というシステムの中で活用する視点を持つことは循環と共生を掲げた新社会システム構築に不可欠な要件と考える。

#### 5 参考文献

- 久納誠 1994：水質浄化に役立つ糸状藻類について、土木技術資料、第 36 巻第 12 号。
- 坂井正、中本信忠 1992：緩速濾過池で繁殖する藻類とその有効利用、信州大学環境科学年報第 14 巻。
- 竹林征三編 1995：実務者のための建設環境技術、山海堂。
- 丹保憲仁、真柄泰基 1983：トリホメタン問題の発端とその経緯、1-9。（丹保憲仁編：水道とトリホメタン）技報堂出版
- 中本信忠、坂井正 1991：緩速濾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)。
- 中本信忠、坂井正 1993：緩速濾過池の藻類の役割、土木学会衛生工学委員会編、環境微生物工学研究法、技報堂出版。
- 丹羽薫、久納誠 1994：糸状藻類活用システムの原理と設備例、ダム技術 No.93。