人工基物上に形成される付着藻類相に与える 下水処理水の影響

Effects of Sewage Effluent on Periphytic Algal Communities on Artificial Substrata.

阿部早智子、須藤隆一

東北大学大学院工学研究科／〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻青葉

SACHIKO ABE and RYUICHI SUDO

Department of Civil Engineering, Graduate School of Engineering,
Tohoku University/ Aoba, Sendai, 980-77, Japan

Abstract

Effects of sewage effluent on periphytic algae in the River Tsunaki were surveyed using artificial substrata in weekly during summer in 1996. The artificial substrata were settled at 2m upper and 2m downstream site of the discharging point. After two weeks they were exchanged to clarify the influence of sewage on the periphytic algal community succession. Water quality were surveyed at three stations, artificial substrata settling sites and discharging point. The average concentrations of BOD were 0.7 (downstream site), 0.8 (sewage effluent) and 1.1mg/l (upstream site). The many nutrient concentrations were constantly high at downstream site by the sewage effluent.

Different algal communities were formed on artificial substrata at the upper and down site. Of fifty algae recorded, *Nitzschia amphibia* (at the upper site) and *Stigeoclonium* spp. (at the down site) were dominant. *Nitzschia amphibia* is eurysaprobic species and *Stigeoclonium* spp. is a tolerant species for pollution. It was found that after forming the stable periphytic algal community the sewage didn't influence the algal succession on artificial substrata. The successions of algal periphytic community on artificial substrata exchanged between the upper and down sites after two weeks reflected the environment before the exchange. But the diversity index of them were down by the sewage effluent.

Key words: sewage treatment, ozone treatment, periphytic algal community, *Nitzschia amphibia*, *Stigeoclonium* spp.

1. はじめに

環境に対する関心の高まりに伴い、河川環境の見直しが計られ始めている。河川を含めた流域全体を地域のもつ資産として有効に利用しようという思想が、川づくりに取り入れ始められている。河川審議会も1996年に(1)生

物の多様な生息環境確保、(2)健全な水循環系の確保、(3)河川と地域の関係の再構築の答申を行い、この流れに沿った施策が展開され始めている。高い堤防を築き、人を河川から遠ざけたり、三面張りにし河川本来の持っている自浄作用を妨げたりする工法から、自浄作用や生態系を重視した工法へと転換が計られ始めている。下水道の

普及に伴い、河川に、多量の下水処理水が流入してくるようになったが、河川生態系に対する配慮から、近年、消毒方法にオゾンを利用している下水処理場が見られるようになった。当市でも、市西部地区の急激な宅地化のため、処理水をオゾンで消毒する下水処理場が1993年4月から運転が開始された。オゾン処理は砂ろ過工程の後に行われ、オゾン注入率は4 mg/l、滞留時間15分で設計されており、その処理水は、仙台市のシンボルの河川の広瀬川の支流である綱木川に放流される。オゾンによる消毒方法は、水生生物への影響が少ないとされているが、オゾンによる藻類増殖¹⁾、ユスリカ密度²⁾への影響も指摘され始めている。処理水が現場河川水質と生態系に与える影響を明らかにするために、1993年3月から1994年4月まで5回の調査を実施した結果、水質的には、明らかな変化は見られなかった。しかし、付着藻類相が処理水の流入後、汚濁に耐性をもつ種類が計測されるようになった³⁾。これらの事から、オゾンで消毒された処理水が流入する河川で付着藻類相の形成過程に与える影響を明らかにするため、処理水の流入前後に、人工基物(9.5×20×6 cmのレンガタイル)を設置し、基物上の藻類相の変遷を検討した。また、安定した付着藻類相が形成された2週間後に人工基物を入れ換え、藻類相の変遷を併せて検討した。

2. 綱木川の概要

綱木川は、水源を仙台市西部の青葉区矢倉木に発する流程3 km余り、調査地点での川幅が4.3 mの小河川で、仙台市のシンボルの河川である広瀬川に流入している。

流量は、下水処理水流入前は、3,000 m³/day (1991年調査) 程度の小河川であったが、調査時の流量は、その5倍の15,000 m³/dayである。下水処理場処理水は操業当初の1993年には、平均2,000 m³/day程度であったが、調査時の1996年8月、9月は6,200、6,800 m³/dayと3倍の流入量であった。

3. 調査方法

3.1 調査期間

調査は、下水処理水と河川の水温が同程度の時期(夏期)に実施し、水温による藻類相への影響を除くようにした。8月11日に人工基物を設置したが、設置3日後には採取可能な程付着物がついていなかった事より、8月11日～9月21日までの期間に1週間の間隔で実施した。

3.2 調査地点

綱木川の処理水が流入する放流口の2 m上流域(以下、上流)と2 m下流域(以下、下流)の2地点に人工基物を設置した。設置場所の平均水深、及び流量は、13 cm、13,000 m³/day、(上流)、16 cm、15,000 m³/day (下流)であった。また、水質については、放流口から流入している処理水(下水処理水)についても、調査を併せて実施した。各地点の位置関係はFig. 1に示す通りである。

3.3 調査項目

河川に設置した人工基物に予め5 cm四方の枠取りをし、おき、枠内の表面付着物をすべてブラシでこすり落とし、クロロフィル a (Chl.a) 量を測定すると共に、ホ

Fig. 1 Location of the sampling station.

ルマリンを3%になるよう添加したものを藻類の同定用の試料とした。藻類は、1個の人工基物から5cm四方の面積中の付着物を3区画採取した。Chl.aの測定は、試料を一定量ガラス繊維濾紙(GF/C)で濾過し、90%アセトンで抽出後、吸光度を測定するユネスコ法に依った⁴⁾。藻類試料の一定量(0.05ml)をとり、600倍で検鏡し種の同定と種ごとの細胞数の計測を行った。同時に硫酸で処理したプレパラートを作成し、種の同定に用いた。

人工基物設置地点2カ所と放流口からの流入水の3検体について、水質調査も併せて実施した。項目は、水素イオン濃度(pH)、溶存酸素(DO)、生物化学的酸素要求量(BOD)、全有機炭素(TOC)、電気伝導率、塩素イオン(Cl^-)、総窒素(T-N)、総リン(T-P)、リン酸態リン($\text{PO}_4\text{-P}$)、アンモニウム態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)、亜硝酸態窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)、硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)の12項目とした。また、現場で、水温、流速を測定した。試験方法は、JIS K 0102に依った。

また、藻類調査の結果より生物による水質判定を行った。生物による水質判定法で多用されている Pantle u. Buck の汚濁指数(Saprobic index)、Shannon (1948)の式による多様性指数(Diversity index)、および地点間の生物相による類似性を見るため、木元による類似度指数 $C\pi^0$ を算出し、これによりクラスター分析を行った。

4. 結果および考察

4.1 河川水質

水温は調査7回の平均が、上流23.2℃、下水処理水24.9℃、下流24.5℃、平均流速は上流が0.44m/s、下流が0.49m/sであった。pHは、3地点とも8月18日(8.22

~8.75)を除いてすべて7.26~7.87であった。

BOD値は、上流が0.4~2.4mg/l(平均:1.1mg/l)、下水処理水が0.2未満~1.5mg/l(平均:0.8mg/l)、下流が0.5~1.2mg/l(平均:0.7mg/l)と3地点とも平均が1mg/l程度の低い値であった(Fig. 2)。

窒素は、総窒素、各形態別窒素とも、処理水と下流水は同様の濃度推移を示していた(Fig. 3、4、5)。リンについても、同様の傾向を示したが、上流水と処理水流入後の濃度には、顕著な差が見られた(Fig. 6)。形態別窒素を見てみると、調査開始の8月11日には $\text{NH}_4\text{-N}$ が上流水で0.1mg/lと高かったが、その後は0.02mg/l程度に低下し、安定した値を保っていた。 $\text{NO}_3\text{-N}$ は、上流が0.72~1.78mg/l(平均:1.32mg/l)、下水処理水が1.23~2.79mg/l(平均:2.04mg/l)、下流が1.24~2.55mg/l(平均:1.90mg/l)と処理水の流入による影響が顕著であった。処理水が流入する事により、生活雑排水の流入の目安である塩素イオン、りん、窒素等の濃度が処理水の濃度に比例して高くなり、綱木川に対する水質面での影響が明らかに見られた。

4.2 付着藻類相

各調査時における人工基物上に形成された藻類相のChl.a量、出現種類数、及び出現細胞数の最も多かった代表種をTable 1に示した。

1) 現存量としてのChl.a量

藻類の現存量の指標であるChl.a量の変化をFig. 7に示した。

上流では、2週間で一定の値(54.4mg/m²)を示し、以後、5週間目まで変化は見られなかった。それに対し、下流では、1週間後のChl.a量は、上流の1/3の4mg/m²

Fig. 2 Changes of BOD at each station.
 ■ upper site, ◆ sewage effluent, ▲ down site

Fig. 3 Changes of T-N at each station.
■ upper site, ◆ sewage effluent, ▲ down site

Fig. 4 Changes of NH₄-N at each station.
■ upper site, ◆ sewage effluent, ▲ down site

Fig. 5 Changes of NO₃-N at each station.
■ upper site, ◆ sewage effluent, ▲ down site

Fig. 6 Changes of T-P at each station.

■ upper site, ◆ sewage effluent, ▲ down site

程度であったが、その後は、常時、上流より高い値を示すようになり、4週間目には206mg/m²の最大値を示していた。

また、基物設置2週間後に入れ換えた基物上のChl.a量は、入れ換え後1週間目は、下流から上流に移動した方が高い値を示していたが、その後は、上流から下流へと移動した方が、1.1~1.5倍の値を示していた。また、上流では、下流から入れ換えた方が、継続して設置していた基物より常時高い量を示していた。調査期間中の降雨は、8月24日(52mm)、9月7日(31.5mm)、9月14日(60mm)に30mm/day以上観測された。上流は、降雨により基物設置4週間後の9月8日以降基物が砂に半分程埋没したが、下流は、処理水の流入による流量の増加により砂に埋もれることはなかった。降雨による初期の生物相への剥離の影響は小さいが、現存量がある程度以上になると剥離の影響は顕著となる事より⁶⁾、上流で4週間以降Chl.a量の増加が見られなかったと思われる。

人工基物を設置した時に、採取した石のChl.a量は、上流201、下流203mg/m²、また、調査終了時は上、下流とも100mg/m²であった。設置までの1ヶ月間は、降雨量も少なく安定した河床状態が続いていた事より、調査地点での夏期の安定した藻類量は200mg/m²程度、また大雨等による転石、剥離が影響している時期は100mg/m²程度と言える。多摩川、千曲川、荒川等の都市河川で100~500mg/m²が⁵⁾、条件によっては15,000mg/m²という高濃度のChl.aの計測されている⁷⁾⁸⁾。一般に、有機汚濁が多少見られる中流から下流にかけてのChl.a量は100~500mg/m²程度である⁹⁾事より200mg/m²は、都市河川では、中程

度のChl.a量といえる。また、景観的に良好なChl.a量の限界値が100~150mg/m²とされている¹⁰⁾が、調査地点の安定した夏期の藻類景観は、必ずしも良好な状態とは言えない。

2) 出現藻類

全体として50種の藻類(藍藻4種、珪藻40種、ミドリムシ、緑藻5種)が、分類・同定された。珪藻が全体の80%を占め、その中でも*Navicula*属(13種)、*Nitzschia*属(6種)の種数が多かった。また、期間中に多くのサンプルで計測されたのは、出現頻度の高い順に*Nitzschia amphibia*(93%)、*Nitzschia palea*(88%)、*Nitzschia inconspicua*(85%)、*Stigeoclonium* spp.(83%)、*Navicula seminulum*(78%)、*Gomphonema parvulum*(75%)、*Scenedesmus* spp.(67%)で、67~93%のサンプルで出現した。上流(平均21種類)及び上流に移動した基物(20種類)の方が、下流(15種類)及び下流に移動した基物(17種類)より種類数が多かった。

3) 代表種

各地点で藻類相に占める出現割合の高い5種類について、その推移をFig. 8、9に示した。上流では、人工基物設置1週間後は、汚濁した水域の指標種で、高濃度の有機態窒素を必要とする真性の窒素従属栄養種の*Nitzschia palea*¹¹⁾が50.4%の割合で出現した。2週間経過後は、比較的流れの速い小川などに生息し¹²⁾、 $\alpha \sim \beta$ 中腐水性の指標種で付着性の緑藻*Stigeoclonium* spp.¹³⁾が75%を占めたが、その後は、調査終了時の6週間後まで独立栄養以外の栄養形式をもち、比較的汚濁に強い広適応性種*Nitzschia amphibia*¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾が、28.7~59.7%の割合

Table 1 Periphytic algal parameters on artificial substrata.

Upper site

	Chl. a (mg/m ³)	Number of species	Major species
Aug. 11	0	0	
Aug. 18	12.3	19	<i>Nitzschia palea</i>
Aug. 25	54.4	17	<i>Stigeoclonium</i> spp.
Sep. 1	61.6	22	<i>Nitzschia amphibia</i>
Sep. 8	56.8	20	<i>Nitzschia amphibia</i>
Sep. 15	45.6	20	<i>Nitzschia amphibia</i>
Sep. 21	104	30	<i>Nitzschia amphibia</i>

Down site

	Chl. a (mg/m ³)	Number of species	Major species
Aug. 11	0	0	
Aug. 18	4.1	11	<i>Nitzschia palea</i> <i>Scenedesmus</i> spp.
Aug. 25	80.4	13	<i>Stigeoclonium</i> spp.
Sep. 1	88.4	17	<i>Stigeoclonium</i> spp.
Sep. 8	206	16	<i>Stigeoclonium</i> spp.
Sep. 15	127	15	<i>Navicula semimulum</i> <i>Stigeoclonium</i> spp.
Sep. 21	138	17	<i>Stigeoclonium</i> spp.

Exchange from down site to upper site on Aug.25

	Chl. a (mg/m ³)	Number of species	Major species
Sep. 1	106	21	<i>Nitzschia amphibia</i>
Sep. 8	111	22	<i>Stigeoclonium</i> spp.
Sep. 15	62.0	18	<i>Stigeoclonium</i> spp.
Sep. 21	187	19	<i>Stigeoclonium</i> spp.

Exchange from upper site to down site on Aug.25

	Chl. a (mg/m ³)	Number of species	Major species
Sep. 1	80.0	13	<i>Nitzschia amphibia</i>
Sep. 8	152	22	<i>Nitzschia amphibia</i>
Sep. 15	95.6	12	<i>Nitzschia amphibia</i>
Sep. 21	206	19	<i>Nitzschia amphibia</i>

Fig. 7 Changes of Chl.a at each station.

■ upper site, ◆ sewage effluent,
▲ down site→upper site, □ upper site→down site

Fig. 8 Ratio (%) of 5 major species on periphytic algal community at upper site.

□ *Nitzschia amphibia*, ▨ *Nitzschia inconspicua*, ▩ *Nitzschia palea*,
▤ *Scenedesmus* spp., ▥ *Stigeoclonium* spp.

Fig. 9 Ratio (%) of 5 major species on periphytic algal community at down site.

□ *Nitzschia amphibia*, ▨ *Nitzschia inconspicua*, ▩ *Nitzschia palea*,
▤ *Scenedesmus* spp., ▥ *Stigeoclonium* spp.

で計測された。これら代表種以外では、*Cocconeis pediculus*、*Cocconeis placentula*が両種合わせて、設置3週間経過後は、常時5～10%程度出現していたのが特徴的であった。*Cocconeis*は、粘質物を分泌して基物上に付着し生息する珪藻で、初期の生物膜の形成過程に関与すると言われており⁹⁾、対照として基物を設置した場所で採取した上流の石の付着物中に数多く計測された。この時期、大雨による土砂の流下が頻繁であったため、縦溝殻面で被付着物に固着して大きな水圧に耐性があるこの属が多く計測されたと思われる¹⁷⁾。また、上流で常時10%程度で出現した *Nitzschia inconspicua* はきれいな水域から汚れている水域まで広範囲な指標種である¹⁴⁾。

一方、下流では、基物設置1週間後の代表種は、*Nitzschia palea*、*Scenedesmus* spp. で、その後、5週間後に窒素従属栄養種の *Navicula seminulum*¹⁸⁾ と *Stigeoclonium* spp. が代表種となったが、6週間後まで *Stigeoclonium* spp. が代表種であった。*Stigeoclonium* は、付着微生物膜の形成過程で最終的な優占種となる事が多く⁸⁾、 $\alpha \sim \beta$ 中腐水性の指標種である¹³⁾。実際、下水処理場の最終沈殿池および汚濁した河川水では、*Stigeoclonium*、*Chlorella*、*Chlamydomonas* などが多く観測されている¹⁹⁾。また、塩素に耐性がある藻類であり²⁰⁾、塩素消毒した処理水が流入する河川で生育可能であると言われている。

4) 人工基物の入れ換えによる藻類相の変遷

通常の河川では、出水等により付着藻類相が剥離するが、その後は、徐々に回復し夏期には、2週間程度で安定した藻類相を形成する⁸⁾と言われている事より、人工基物設置後2週間経過し、安定した藻類相が形成された基物を上流と下流で入れ換えを行った。出現割合の高い5種類についてその推移を Fig.10、11に示した。下流から上流に移動した基物の1週間後の代表種は、*Nitzschia amphibia* (47.7%)であったが、その後4週間後まで *Stigeoclonium* spp. が51.3～76.1%出現し代表種となった。

一方、上流から下流に移動した基物上の藻類相の代表種は、1週間経過以降4週間後まで *Nitzschia amphibia* が49.6～63.3%出現し、代表種となった。

BODが1～2ppm程度の綱木川のような小河川では、ある程度安定した藻類相が形成された後では、その形成された時点での水質条件がその後の相の変遷に大きく影響し、下水処理水が流入する前後で基物の入れ換えを実施しても、移動前の条件下の藻類相と同様の変遷を示す

事が明らかとなった。対照として現場で採取した石上の藻類相は、調査開始時が *Cocconeis pediculus* (上流)、*Stigeoclonium* spp. (下流)が、終了時は *Nitzschia amphibia* (上流)、*Stigeoclonium* spp.、*Nitzschia palea* (下流)が代表種となっており、自然石でも上流と下流でも明らかに藻類相が異なっていた。

一般的に、河川の石上の生物膜の形成過程は、まず、細菌類、菌類が付着し、これらが助長する形で *Cocconeis* のように粘質物を分泌して、全面で着生する藻類が付着し、これに垂直方向に延びる形式をもつ藍藻の *Oscillatoria*、*Phormidium* が加わり3次元的構造を持つようになる。更に、*Cymbella*、*Gomphonema* といった粘液柄を出して付着する藻類や、*Nitzschia* も加わり、複雑な構造を呈するようになる。変遷が進むと緑藻の *Cladophora*、*Stigeoclonium* と言った数10cmの長さになって流速の大きい場では毛髪状にたなびく藻類が優占すると言われている⁸⁾。比較的清浄な日本の河川では、藍藻の *Homoeothrix janthina*、珪藻の *Achnanthes lanceolata* が主体の付着藻類相が形成されると言われている¹⁹⁾が、今回の調査で、下流域では *Homoeothrix janthina* が最大7.9%計測された。また、入れ換えた基物では、下流から上流に移動した相で常時観察され最大10.6%出現したが、上流から下流に移動した基物上では計測されなかった。調査地点では *Nitzschia amphibia* と *Stigeoclonium* spp. が主体の付着藻類相が形成されていた。富栄養河川では、最終的には *Stigeoclonium* spp. が優占種になる事が多いと言われており⁸⁾、調査河川は藻類からみて富栄養河川と言える。

5) 各地点での汚濁指数 (Saprobic index)

水質汚濁状況を評価する方法は多く提案されてきたが、Pantle u. Buck の汚濁指数 (Saprobic index) が多用されている。汚濁指数値 (S) および水質階級⁷⁾は、次の通りである。

$$S = \sum s \cdot h / \sum h$$

s : 汚濁階級指数

s = 1 貧汚濁性指標種

s = 2 β - 中汚濁性指標種

s = 3 α - 中汚濁性指標種

s = 4 強汚濁性指標種

h : 出現細胞数

S = 1.0以下 貧腐水性

1.0～1.5 β 中腐水性寄り貧腐水性

Fig.10 Ratio (%) of 5 major species on periphytic algal community at upper site exchanged from down site.

□ *Nitzschia amphibia*, ▨ *Nitzschia inconspicua*, ▤ *Nitzschia palea*,
 ▩ *Scenedesmus* spp., ▧ *Stigeoclonium* spp.

Fig.11 Ratio (%) of 5 major species on periphytic algal community at down site exchanged from upper site.

□ *Nitzschia amphibia*, ▨ *Nitzschia inconspicua*, ▤ *Nitzschia palea*,
 ▩ *Scenedesmus* spp., ▧ *Stigeoclonium* spp.

- 1.5~2.0 β中腐水性
- 2.0~2.5 α中腐水性寄りβ中腐水
- 2.5~3.0 α中腐水性
- 3.0~3.5 強腐水性寄りα中腐水性
- 3.5~4.0 強腐水性

安定した藻類相が形成された2週間以降の5回の汚濁指数の平均値 (Table 2) は、上流が2.4 (α中腐水性寄りβ中腐水)、下流が3.1 (強腐水性寄りα中腐水性) と処理水が流入する事によって汚濁の進行が藻類相に現れていると言える。

また、入れ換えた基物の1週間後から4回の平均値は、

下流から上流に移動した方が2.8 (α中腐水性)、逆に上流から下流に移動した方が2.3 (α中腐水性寄りβ中腐水) とそれぞれ移動前の水質を反映していた。

6) 藻類群集の多様性

生物の生息する環境のかたよりの目安である多様性指数値 (H') は、次の Shannon (1984) の式を用いて算出した。

$$H' = -\sum \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

N: 総個体数

n_i : 種別個体数

上流の多様性指数値は、平均2.7、下流は平均2.0と上

流の方が多様性が高く、処理水の流入が、生息環境に影響していると思われる (Table 3)。入れ換えした基物での多様性指数値は、下流から上流に移動した方は2.7、逆は2.4と処理水が藻類相の多様性を低下させていると言える。

7) 各調査時における地点間の類似度指数とクラスター分析

各調査時における人工設置基物間の藻類相の類似性を見るため、木元による類似度指数 (C π) を求めた (Table 4)。また、C π 値により似通った藻類相が形成されている群をクラスター分析によりデンドログラムに示した (Fig.12)。分類していく方法には、1.最短距離法、2.最長距離法、3.メジアン法、4.重心法、5.群平均法、6.ウォード法の6つがあるが、生態学的に最も適している群平均法で分析を行なった²²⁾。

設置後1週間後の藻類相は、上、下流とも他とは異なった藻類相を示した。しかし、その後は、下流と下流から上流に移動した基物上の藻類相は似通った相を形成するようになった。また、上流の藻類相は、設置2週間後は下流の相と似通っていたが、その後は上流と上流から

下流に移動した相と似通った藻類パターンを示すようになった。

これらの事から、処理水が放流された後の下流では、2週間後からは *Stigeoclonium* spp. が突出して優占する、似通った群集パターンを示す藻類相が形成されていたことが明らかとなった。一方、処理水の流入の影響を受けない上流では、3週間経過後 *Nitzschia amphibia* が優占し、下流とは明らかに異なった群集パターンを示すようになった。また、基物を上流と下流で入れ換えても、最初に設置された場に対応した藻類相が形成される事が明らかとなった。

5. まとめ

オゾンで消毒された下水処理水が流入する小河川で、人工基物を設置し水質と人工基物上の付着藻類、及び Chl.a 量の変遷を、また、安定した藻類相が形成された2週間後に基物を入れ換え、藻類相の変遷を併せて検討した結果、次の事が明らかとなった。

- 1. 処理水の流入により、河川水中の塩素イオン、リン、窒素濃度が処理水の濃度に比例して高くなり、河川水

Table 2 Values of Saprobic index (S. I.) of periphytic algal communities on artificial subatrata.

	Upper site	Down site	down→upper	upper→down
Aug.18	3.5	3.4		
Aug.25	2.8	3.1		
Sep.1	2.5	2.9	2.2	2.4
Sep.8	2.2	2.9	2.8	2.3
Sep.15	2.2	3.2	2.9	2.3
Sep.21	2.1	3.2	3.0	2.3

Table 3 Values of Diversity index (D. I.) of periphytic algal communities on artificial subatrata.

	Upper site	Down site	down→upper	upper→down
Aug.18	2.5	1.9		
Aug.25	1.8	1.4		
Sep.1	3.4	1.6	2.7	2.5
Sep.8	2.3	1.8	2.6	2.5
Sep.15	2.7	2.6	2.7	2.2
Sep.21	3.2	2.5	2.6	2.2

Table 4 Values of similarity index ($C\pi$) of periphytic algal communities in each survey.
(U.S.: upper site, D.S.: down site, D → U: exchange from down site to upper site,
U → D: exchange from upper site to down site.)

		Upper site						Down site						exchange from down site to upper site				exchange from upper site to down site		
		8.18	8.25	9.1	9.8	9.15	9.21	8.18	8.25	9.1	9.8	9.15	9.21	9.1	9.8	9.15	9.21	9.1	9.8	9.15
8.25	U.S.	0.04																		
9.1	U.S.	0.16	0.24																	
9.8	U.S.	0.05	0.17	0.79																
9.15	U.S.	0.07	0.17	0.89	0.96															
9.21	U.S.	0.07	0.12	0.81	0.97	0.95														
8.18	D.S.	0.83	0.11	0.10	0.02	0.02	0.04													
8.25	D.S.	0.20	0.97	0.18	0.09	0.09	0.06													
9.1	D.S.	0.07	0.99	0.20	0.12	0.12	0.08	0.18	0.99											
9.8	D.S.	0.07	0.98	0.23	0.16	0.16	0.12	0.16	0.97	0.99										
9.15	D.S.	0.19	0.58	0.41	0.36	0.37	0.34	0.19	0.58	0.60	0.67									
9.21	D.S.	0.15	0.79	0.44	0.38	0.38	0.36	0.18	0.78	0.79	0.85	0.93								
9.1	D→U	0.12	0.10	0.85	0.95	0.97	0.95	0.05	0.02	0.04	0.08	0.32	0.32							
9.8	D→U	0.21	0.91	0.29	0.21	0.20	0.18	0.29	0.92	0.92	0.96	0.73	0.89	0.14						
9.15	D→U	0.18	0.81	0.51	0.45	0.45	0.43	0.25	0.80	0.81	0.86	0.88	0.98	0.39	0.93					
9.21	D→U	0.22	0.73	0.61	0.59	0.59	0.58	0.22	0.72	0.72	0.77	0.81	0.94	0.54	0.84	0.96				
9.1	U→D	0.06	0.33	0.87	0.97	0.96	0.95	0.05	0.25	0.28	0.32	0.48	0.53	0.94	0.37	0.60	0.72			
9.8	U→D	0.13	0.10	0.77	0.99	0.94	0.96	0.10	0.04	0.06	0.09	0.35	0.34	0.96	0.15	0.41	0.56	0.95		
9.15	U→D	0.12	0.14	0.83	0.94	0.98	0.91	0.08	0.06	0.09	0.13	0.38	0.37	0.96	0.17	0.43	0.56	0.93	0.93	
9.21	U→D	0.10	0.14	0.75	0.99	0.94	0.96	0.10	0.07	0.10	0.13	0.34	0.36	0.94	0.18	0.43	0.57	0.95	0.99	0.94

Fig.12 Dendrograms of the cluster analysis based on $C\pi$ similarity in each survey.

質に対する影響が明らかに見られた。

2. 50種の藻類（藍藻4種、珪藻40種、ミドリムシ1種、緑藻5種）が、分類・同定され、上流では珪藻の *Nitzschia amphibia* が、下流では緑藻の *Stigeoclonium*

spp. が代表種となる藻類相が人工基物上に形成された。

3. 下水処理水の流入を受けても BOD 値が 1 ~ 2 mg/l 程度の小河川では、安定した藻類相が形成された後の人工基物を入れ替えても、その後の藻類相の変遷は、

入れ換え前に設置した相と同様の変遷を示した。

4. 安定した藻類相が形成された2週間以降の5回の汚濁指数の平均値から、処理水が流入する事によって汚濁の進行が藻類相に現れていると言える。また、入れ換えた基物の汚濁指数は、移動前の水質を反映していた。
5. 多様性指数値は、上流の方が高く、入れ換えた基物では、下流から上流に移動した方が高く、処理水が藻類相の多様性低下に寄与していると言える。
6. 類似度C π によるクラスター分析の結果、下流では、2週間後から似通った群集パターンを示す藻類相が、上流では、3週間経過後から下流とは明らかに異なった群集パターンを示す相が形成された。また、基物を移動しても始めに設置された水質に対応した藻類相が形成された事より、藻類相形成時の河川水質の重要性が示唆された。

[引用文献]

- 1) 曾根庸夫、西村孝彦、栗林 栄：下水処理水の親水利用性向上に関する実験調査—付着藻類抑制と再生処理プロセスについて—、下水道協会誌、32 (382) 67-79 (1995)
- 2) 大野正彦、古明地哲人：清流復活水路のユスリカ群集に及ぼすPAC (ポリ塩化アルミニウム)・オゾン処理の影響、東京都環境科学研究所年報1993、75-82 (1993)
- 3) 阿部早智子、加藤丈夫、伊藤善通、横林一彦、宮崎圭三：下水処理場排水の河川生物相に与える影響、日本水処理生物学会誌、32 (1) 51-59 (1996)
- 4) 西条八束、三田村緒佐武：新編湖沼調査法、230pp.、(株)講談社サイエンティフィク (1995)
- 5) 木元新作：動物群集研究I—多様性と種類組成—、共立出版株式会社 (1976)
- 6) 海老瀬潜一、宗宮 功、大楽尚志：市街地河川流建負荷量変化と河床付着性生物群 (I)、用水と廃水、20 (12) 1447-1459 (1978)
- 7) 財団ダム水源環境整備センター編：水辺の環境調査、483pp.、技報堂出版 (1994)
- 8) 相崎守弘：富栄養河川における付着微生物群集の発達にともなう現存量および光合成量の変化、陸水学雑誌、41 (4) 225-234 (1980)
- 9) 秋山 優、有賀祐勝、坂本 充、横浜康継共編：藻類の生態、627pp.、内田老鶴圃 (1986)
- 10) E.B. Welch, J.M. Jacoby, R.R. Horner & M.R. Seeley : Nuisance biomass levels of periphytic algae in streams, *Hydrobiologia*, 157, 161-168 (1988)
- 11) Van Dam, H., A.Mertens & J.Sinkeldam : A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands, *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28, 117-113 (1994)
- 12) 久納 誠、丹羽 薫：糸状藻類の溶解性オルトリン酸態リンの吸収能における濃度および水温依存性、水環境学会誌、20 (4) 269-277 (1997)
- 13) 日本生態学会環境問題専門委員会編：環境と生物指標 2、61-96、共立出版株式会社 (1975)
- 14) 横浜市公害研究所編：水域生物指標に関する研究報告、348pp. (1989)
- 15) Watanabe, T., Asai, K. & Houki, A. : Numerical water quality monitoring of organic pollution using diatom assemblage, *In* Round, F. E. (ed.) *Proc. 9th Diat. Symp. Koeltz, Koenigstein*, 123-141 (1988)
- 16) Lange-Beltalot, H.: Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation, *Nova Hedwigia Beih.* 64: 285-304 (1979)
- 17) 伯耆晶子、渡辺仁治：川床の付着藻類群集組成および構造に基づく群集形成過程への考察、日本水処理生物学会誌、18 (2) 16-23 (1982)
- 18) 福嶋 悟：下水処理水による都市河川の生物生息環境の回復—付着藻類群集による評価—、用水と廃水、37 (8) 41-45 (1995)
- 19) 須藤隆一、森 忠洋、大竹久夫、岡田光正、合葉修一：都市下水の2次処理水が示す藻類生産の潜在能力、下水道協会誌、12 (133) 1-9 (1975/6)
- 20) Guillermo E. Napolitano, Walter R. Hill, James B. Guckert, Arthur J. Stewart, Stephen C. Nold, and David C. White: Changes in periphyton fatty acid composition in chlorine-polluted streams, *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 13 (2) 237-249 (1994)
- 21) 田中志穂子、渡辺仁治：日本の清浄河川における代表的付着藻類群集 *Homoeothrix janthina-Achnanthes japonica* 群集の形成過程、藻類、38 167-177 (1990)
- 22) 加藤和弘：多変量解析を用いた珪藻群集の生態研究、珪藻学会誌、7 1-8 (1992)

(受付 1997. 10. 9)

(受理 1997. 12. 20)