

千曲川中流域における河床 periphyton による有機物 生産とその河川水質への寄与

桜井善雄* Yoshio SAKURAI*

Primary Productivity of Periphytic Community and Its Effect on the Water Quality of Eutrophic Middle Course of River Chikuma

はじめに

わが国では河川は水資源の供給源として最大の比重を占め、また水産や国民の日常生活環境として重要な役割りを果しているばかりでなく、集水域から受け入れた物質を、下流の湖沼や海灣に流送する働きをもっている。このような物質流送の過程で、自然または人為の原因によって河水中に付加された有機物は、物理・化学・生物学的作用によって、沈殿、分解など、いわゆる自浄作用を受ける。同時に、分解によって生じた栄養塩類、ならびに集水域から直接流入した栄養塩類は、主として河床に着生・繁殖する藻類を主とするいわゆる periphyton 群集による一次生産を通して、有機物に再合成される。このようにして河川流路内に蓄積した有機物の一部は、水生昆虫の幼虫や藻食性魚類などの一次消費者に摂食され、またその多くの部分は随時剥離して下流に流送され、水質や底質に影響を与える。

このように、河川環境の特徴は、短い流程に視野を限った場合、物質の動きがその系内における循環よりは、むしろ上流および集水域からの移入と、下流への移出が卓越しているところにある。また、もう一つの大きな特徴は、上記のようなすべての過程が、動量の変動によって、不定期に著しい攪乱を受けることである。特にわが国のような河況係数の大きな河川においては、この攪乱の影響はきわめて著しい。その結果、河水中に流入した物質は、水中においてその状態が変化す

ると同時に、流量安定時における河道内蓄積と、洪水時の強い掃流による下流への流達負荷の尖頭増加など、きわめて複雑な変動を示すことになる。

以上のような関係を、図1に模式的に示した。このような、河川の内部における物質の挙動と流下の機構を明らかにすることは、河川の水質保全ばかりでなく、下流に位置する湖沼や海灣の水質保全のためにも、重要な課題である。

近年わが国では、人間活動の影響による陸水の富栄養化の進行がはげしく、特に湖沼においては、富栄養化の機構の解明やその防止対策が、水質保全の最重要課題となっている。一方、河川では、富栄養化の影響は湖沼に比べ著しくないのが現状である。しかし、流域の自然的、社会的原因によ

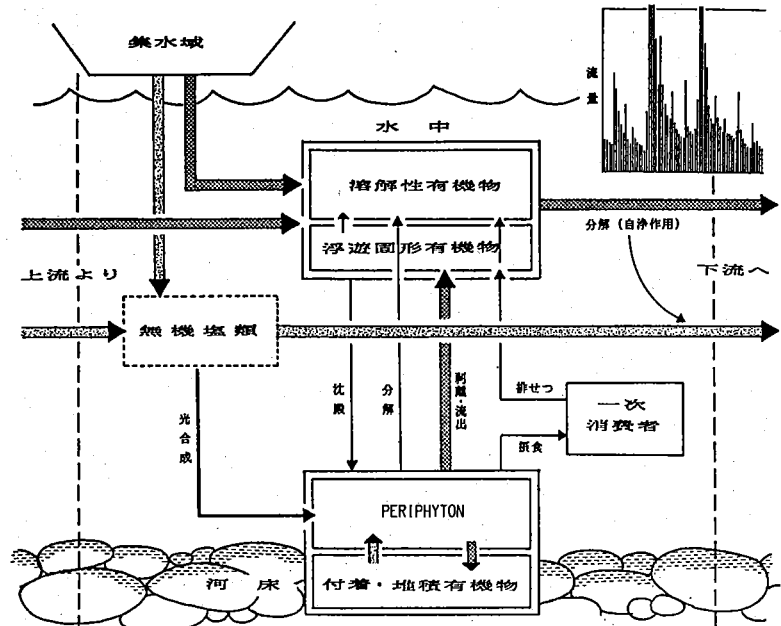


図1. 溪流河川における有機物の動きを示す模式図

*信州大学繊維学部 Fac. Text. Sci. & Technol., Shinshu Univ.

て、河水中の窒素やリンの濃度が上昇している富栄養化河川については、水質保全対策の基礎としても、上記のような河道内の物質循環系における有機物の内部生産力と河川水質への寄与の程度を明らかにしておく必要がある。

この報告は、以上のような観点から、わが国における富栄養化した溪流河川の代表とみることができる千曲川の、上田市地点において、河川の periphyton における有機物の現存量、生産力、ならびにその剥離・流下の機構や河川水質への寄与などについて研究した結果である。なお、この研究は1971年以来、文部省科学研究費「陸水富栄養化の基礎的研究」（1971～1973、代表者；津田松苗）、「陸水富栄養化とその対策」（1974～1976、代表者；津田松苗）、「河川の浄化作用」（1981～1982、代表者；小倉紀雄）、および「河川における物質循環」（1983～1984、代表者；桜井善雄）の補助を受けておこなわれたものであり、以上述べるところは、その成果からの抜粋・要約である。

1. 測定地点（千曲川の上田市地点）の概要

本邦最長の河川である信濃川の長野県内の流程およそ200kmが千曲川と呼ばれており、以下の測定をおこなった上田市常田地点は、ほぼその中央に位置する。この地点の河床の標高は約430m、平均河床勾配は0.79%、最近9年間（1975～1983）の平水流量は、32.6～51.4（平均43.2） m^3/sec 、平水流量の比流量は1.61～2.53（平均2.13） $m^3/sec \cdot 100m^2$ である⁽¹⁾。比流量が小さいのは、流域の大部分が本州で最も降水量の少ない地域に当たるためである。河況係数は大きく、上記の9年間の年間河況係数は14.0～192.7（平均63.3）となっている。

測定地点付近の河床は、大部分がこぶし大から直径数十cmの石礫より成り、平水以下の流量では水深1mを越えるところはきわめて少なく、流路の大部分が“瀬”の性格をそなえている。

この地点の集水面積は約2240 km^2 、その土地利用は、山林・原野が63.2%、農耕地が15.1%（うち畑が9.2%、水田が5.9%）である。畑地については川上村、南牧村、軽井沢・小諸高原、菅平高原などの地域で、いわゆる高原清浄野菜の栽培が盛んなため、浅層地下水中の硝酸態窒素の濃度が高く、また表流水への流出も多い^(2,3,4)。集水域の人口は約28万人（1983）であり、その平均人口密度は約124人/ km^2 となるが、川沿いに佐久市、小諸市、上田市、丸子町等の市街地があり、これらのうち公共下水道をもつのは上田市だけである（上田市下水道の処理水は、測定地点より下流の千曲川に放流されている）。また集水域のし尿はほとんどがし尿処理場に収集処理され、処理水は千曲川またはその支川に放流されている。

2. 測定地点の水質

千曲川の上記の地点で測定した最近（1982年6月～1984年12月）の水質を、表1に示した。測定はすべて11時から14時の間におこなわれた。

表1のように、上田市付近の千曲川の河水は、窒素およびリン成分の濃度がかかなり高い。全窒素の大部分は NO_3-N によって占められているが、その濃度は流域の融雪期および降雨時に高くなる傾向があり、かなりの部分が前述の高原野菜栽培地帯の肥料の流出によるものと推定される。河水のBODもしばしば高い値を示す。ちなみにこの水域の環境基準は類型A（BOD、2 mg/l ）である。

表1. 千曲川（上田市地点）の水質

	最小～最大	平均
EC ($\mu S/cm$)	106.4 - 195.5	158.5
pH	7.4 - 8.6	7.8
DO (mg/l)	8.0 - 13.0	9.9
	99.2 - 115.9	104.7
T-N (mg/l)	1.47 - 3.10	1.86
NO_3-N (mg/l)	1.27 - 2.12	1.43
T-P (mg/l)	0.054 - 0.220	0.101
PO_4-P (mg/l)	0.013 - 0.089	0.039
BOD (mg/l)	0.97 - 4.8	1.97
COD (mg/l)	0.98 - 8.8	2.43

（1982年6月～1984年12月、37回測定）

3. 河床石面のクロロフィル-a量

クロロフィル-a（Chl.-a）の量は、河床石面上における活性の高い着生藻類の蓄積量を示す重要な指標である。藻類を含む periphyton 生物膜は不規則の出水により削り取られ流失するため、年間を通してChl.-aの量は著しく変動する。水質を測定した前記の期間に、図2に

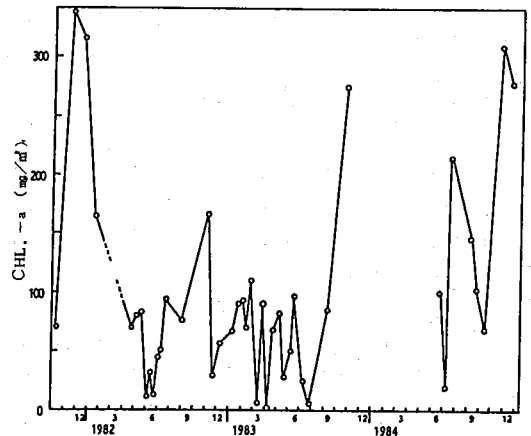


図2. 千曲川（上田市地点）河床石面のChl.-a量

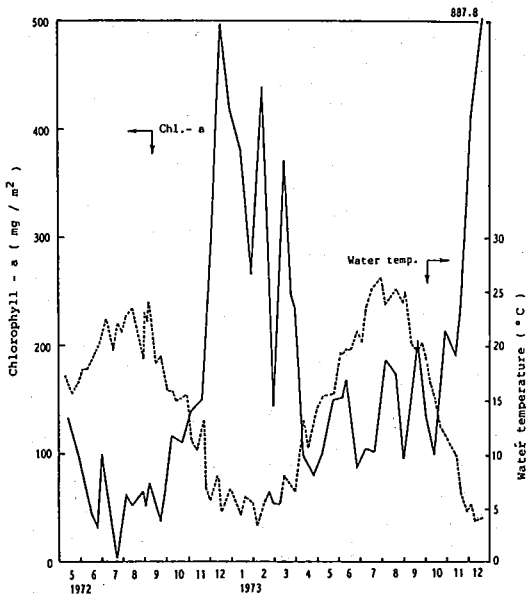


図3. 千曲川(上田市地点)河床石面のChl.-a量

示したように $1.0 \sim 338.5 \text{ mg/m}^2$ の値をえたが、1972年から73年にかけて20ヶ月継続測定した結果(図3)によれば、最高 888 mg/m^2 に達することがある。このような数値は、相崎⁽⁵⁾が東京都の多摩川下流で測定した値に匹敵するものであり、自然河川の蓄積量としては最高のレベルにとみることができる。図3からわかるように、千曲川河床のChl.-a量は、夏期を中心とする流量変動のはげしい季節には低く、流量が安定する冬期に高くなる傾向が明らかである。

4. periphytonの光合成-光曲線

河床石面のperiphyton群集の一次生産力と照度の関係を明らかにしておくことは、河道内における有機物の自己生産力を能率的に測定するために必要なことである。富栄養化の著しい多摩川下流の河床に沈めた人工基体上に発達したperiphytonの光合成-光曲線については、すでに相崎⁽⁵⁾の報告があり、冬期~早春には $20 \sim 30 \text{ klux}$ で、また晩春から初夏には $60 \sim 70 \text{ klux}$ で光飽和に達し、いずれの場合もそれ以上の照度において阻害がみられない。

千曲川の秋から初冬のperiphytonについて測定した結果を図4に示した。図4-(1)は、石面のperiphytonを削り取り、軽くホモジナイズした分散試料について測定したものであり、約 10 klux で飽和に達している。図4-(2)は、石面に着いたままの試料について測定した1例である。この場合には 26 klux 付近で飽和に達し、 70 klux においても阻害がみられない。後者は相崎が多摩川で同じ季節に測定した結果に近似している。

5. periphytonの同化率

periphyton群集の単位Chl.-a量・単位時間当たりの一次生産力を求めておくことは、河道内における有機物生産力の概数を推定するのに役立つ。

periphyton生物膜がよく発達した冬期に、千曲川の最上流部から長野市までの10地点について、分散させた試料を用いて生産力および同化率を測定した結果を図5に示した。図5の下段をみると、千曲川のperiphytonの同

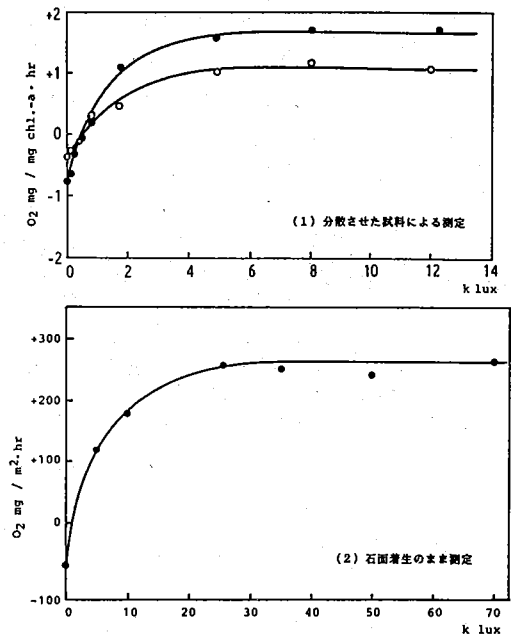


図4. 千曲川periphytonの光合成-光曲線

化率は、その地点の単位面積当たりの生産力に関係なく、 $2.0 \sim 3.7 \text{ } \rho \text{O}_2 / \text{ } \rho$, Chl.-a · hr の範囲にあることがわかる。また上田市地点で、河床の石面に自然に発達した試料をそのまま用いて、6月~12月の間測定した結果(表2)でも、periphyton発達初期の1例を除けば、ほとんど上記に等しい $1.0 \sim 3.9 \text{ } \rho \text{O}_2 / \text{ } \rho$, Chl.-a · hr という値がえられている。

河水中に着生基体(粗面の磁製タイル)を沈めて、単位面積当たりのChl.-a量の増加に伴う同化率(対総生産量)の変化を継続測定した結果(図6)によれば、periphyton発達の初期(7~10日頃まで)には著しく高く、 $20 \sim 23 \text{ } \rho \text{O}_2 / \text{ } \rho$, Chl.-a · hrを示したが、その後生物膜の発達に伴い急速に低下し、15~20日後には $1 \sim 3 \text{ } \rho \text{O}_2 / \text{ } \rho$, Chl.-a · hrのレベルで平衡に達した。これはperiphytonの生物膜が、発達初期の薄層明適応型から肥厚して成層構造に移行してゆく過程を示すものと考えられる。

相崎是多摩川下流の水中に設置した人工基体上に発達したperiphytonについて、年間通して同化率を測定して

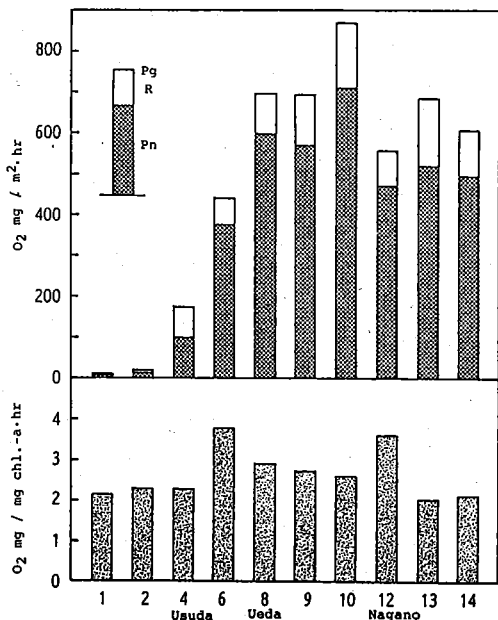


図5. 流況安定時における千曲川の上流一下流間の一次生産力(上)と同化率(下)。(12月, 分散試料による)

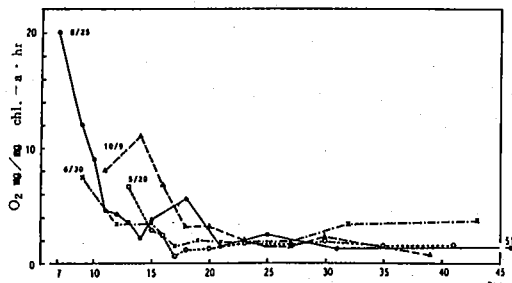


図6. periphytonの発達に伴う同化率の変化 (図中の数字は着生基体設置の月/日を示す)

いるが, 2, 3の特異な場合を除けば, ほぼ千曲川と同じ値である⁽⁵⁾。

6. periphytonの発達に伴うクロロフィル-a量の増加

千曲川の河水を常時ほぼ一定量取水している上田市小牧の東海区水産研究所の水路の中に粗面タイルを設置し, その表面にperiphyton生物膜が発達する過程におけるChl.-a量の増加を測定した。実験は1月13日, 5月20日, 6月30日, 8月25日, および10月9日に開始し, 40~50日続した。図7がその結果である。図7によれば, 冬期には40日で290 mg/m²に, 5~9月には20日前後で150~250 mg/m²に, また10~11月には25日で140 mg/m²に

達し, その後は増減をくりかえすことがわかる。図7の下段は, 最初の最高値に達するまでの各回の増加速度を比較したものである。

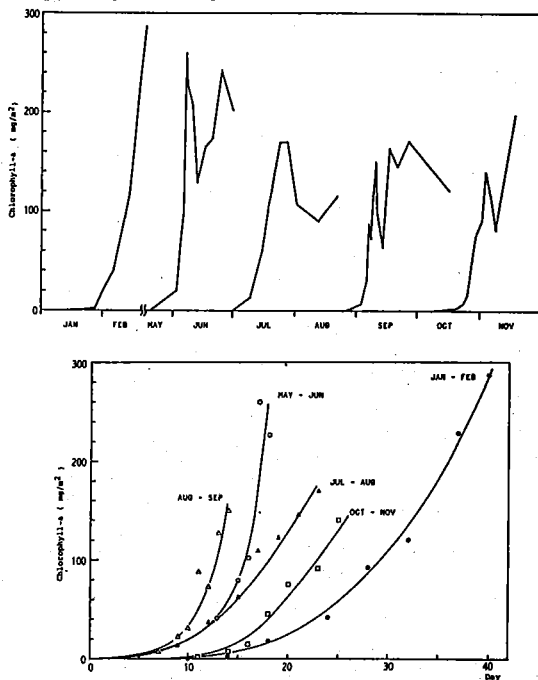


図7. periphytonの発達に伴うChlorophyll-a量の増加 (下図は最初の最高値に達するまでの増加速度の比較)

7. periphytonの発達と有機物量の増加

前項の実験で, Chl.-aと同時にタイル面上に着生したperiphyton生物膜の灼熱減量を測定し, 有機物量の増加速度を近似的に求めた。その結果, 図8のように有機物量はChl.-a量とほぼ同じパターンで増加し, 有機物/Chl.-aの比は, ほとんど100~150の間にあった(図9)。また有機物の増加速度は, periphyton発達初期の遅滞期を除けば, 年間を通して1.2~4.3 g/m²・dayの範囲にあった。これは, タイル上のperiphyton群集の中に共存するトビケラ類, カゲロウ類, ユスリカ類の幼虫による摂食や, わずかながら起きているであろう膜の脱離・流失を含めた純増加速度である。

8. periphyton生物膜のTOCおよび有機物現存量

6月から12月まではほぼ毎月1回, 河床の石面に自然に着生した生物膜について種々の測定をおこなった結果を表2に示した。この測定の範囲内でも, periphytonの現存量は, 総量(乾)で9.9~252 g/m²と大きな変動を示す。そのTOC(全有機炭素)量は2.27~26.8 g/m², 灼熱減量から推定した有機物量は5.3~44.0 g/m²であった。また各回のTOC/有機物の比は0.32~0.63, 平均0.48であっ

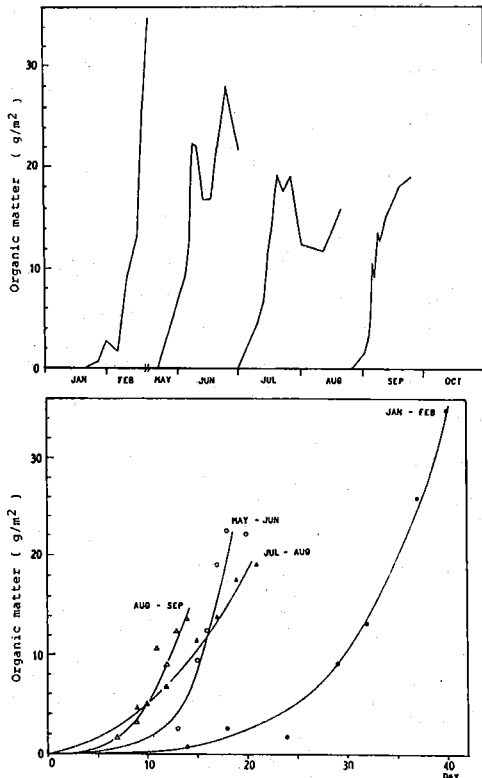


図 8. periphyton の発達に伴う有機物量 (灼熱減量) の増加 (下図は最初の最高値に達するまでの増加速度の比較)

相崎⁽⁶⁾は、春期の多摩川下流の periphyton について、藻体以外の付着有機物を差し引く操作をした上で、着生藻類の有機 C/Chl. -a (mg/mg) の比を求め 18.2 としている。表 2 から各回の測定についてこの比を求めると、46.3~111.8, 平均 78.6 という大きな値になり、かなりばらつきがみられる。これは、測定時までの生物膜発達の前歴によって、藻体以外の有機物が、さまざまな割合で含有されるためと考えられる。

9. periphyton の一次生産力

図 5 に示したように、上田市付近の千曲川の河床石面

表 2. 千曲川 (上田市地点) の河床における有機物生産力 (石面着生試料による)

測定月日	6.20	7.05	7.16	9.07	10.15	11.26	12.15
Total periph. (g/m ²)	30.0	9.9	64.0	52.0	74.7	252.0	167.0
Org. mat. (IL)(g/m ²)	8.0	5.3	26.7	24.0	18.7	44.0	36.7
T O C (g/m ²)	4.63	2.27	-	8.38	6.01	26.8	23.0
Chl. - a (mg/m ²)	99.9	20.3	217.6	146.0	69.2	309.3	277.7
Pg (O ₂ mg/m ² hr)	355	445	354	360	270	267	281
Assim. ratio	3.55	21.9	1.63	2.47	3.90	0.86	1.01
R (O ₂ mg/m ² hr)	104	72	61	91	53	58	54
Pn (O ₂ mg/m ² hr)	251	373	293	269	217	209	227
Dur. of sunshine(hr)	14.7	14.6	14.3	12.7	11.2	10.0	9.7
Pn per day (O ₂ g/m ² d)	2.65	4.72	3.67	2.31	1.84	1.29	1.51

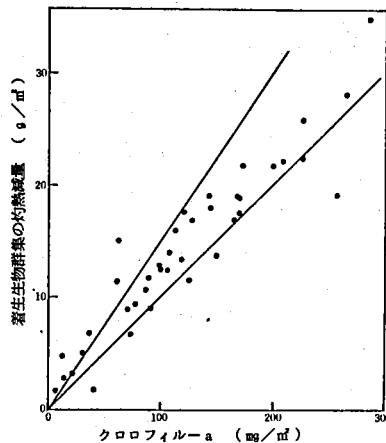


図 9. 千曲川の着生生物群集における chlorophyll - a 量と有機物量の相関

から採取した periphyton の分散試料による一次総生産力は約 $700 \text{ mgO}_2 / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$ であった。しかし、石面の生物膜の層状構造をこわすことなく、内容約 650 ml の透明プラスチック容器を用い、明暗ビン法によって測定した総生産力は、表 2 の R+Pn から求めると $267 \sim 445$ (平均 333) $\text{mgO}_2 / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$ となった。これに測定した各季節の日照時間を考慮して 1 日の純生産速度を求めると $1.3 \sim 4.7$ (平均 2.6) $\text{gO}_2 / \text{m}^2 \cdot \text{day}$ となる。酸素量から有機物量への換算係数を 0.86 とすれば、有機物の純生産速度は $1.1 \sim 4.0$ (平均 2.2) $\text{g} / \text{m}^2 \cdot \text{day}$ である。この値は 7. で述べた有機物の蓄積速度とは異なり、石面からの脱離・流失による損失を含まない、短期間における群集純生産速度の近似値とみなすことができる。

田中ら⁽⁷⁾は、筆者の測定地点の対岸にある東海区水産研陸水部において、沈砂池を経た千曲川の河水をさらにナイロンウールで濾過して、5 日間(6月)、13 日間(7~8月)または 15 日間(9月) エスロンパイプの水路(屋外)に流し、壁面に着生した付着藻類量と水路の末端で捕集したはく離藻の量の和から、それぞれ 3.5, 4.5 および 5.1 $\text{g} / \text{m}^2 \cdot \text{day}$ という乾物純増加量を測定している。これは上記よりかなり大きな値である。しかし、報告によれば、この付着物(乾)中の C の割合は 16.8~20.0% とかなり低

いので、吸着された粘土粒子などの影響も考えられ、実際の有機物純生産量はこれより多少低い値になるものと推定される。

10. periphyton 生物膜のはく離と流下

すでに述べたように、河床石面に発達する periphyton の生物膜は、或る厚さに達するとはく離と蓄積をくり返し、脱離した生物膜の細片は河水中に流出してそのBOD、COD、SS等に付加される。このような生物膜のはく離の機構を推定するため、千曲川から取水している水路の中に、晩秋期に粗面タイルを沈め、生物膜を着生させ、24日後にその表面をナイロンメッシュでおおい、再び水中に沈めて生物膜を着生させ、50日後に取り出して、ナイロンメッシュを境とする表層と下層について、表3のような種々の測定を試みた。

表3. 発達した periphyton の上層と下層の性状のちがい(上層は24日間、下層は50日経過したもの。10月~11月)

	Total periphyton (g/m ²)	Organic matter (TL) (g/m ²)	O ₂ cons. by org. matter (O ₂ /g·d)	Chl.-a (mg/m ²)	Pheophytin (mg/m ²)	Chl.-a/(Chl.-a + Pheoph.) (g)	Aerobic heterotroph (x10 ⁶ /cm ²)	Aerobe/Org. matter (x10 ⁹ /g org. matter)	Anaerobic heterotroph (x10 ⁵ /cm ²)	Anaerobe/Org. matter (x10 ⁷ /g org. matter)	Sulfate reducer (n/cm ²)	Sulfate reducer/Org. matter (x10 ² /g org. matter)
upper layer	1066	70	9.3	440	4.9	98.9	35	5.0	2.2	3.1	2.6	3.7
lower layer	306	25	20.5	64	20.8	75.5	2.4	0.96	1.5	6.0	22.0	88.0

表3の結果から、生物膜の中における好気性細菌、嫌気性細菌、硫酸塩還元菌、Chl.-a量、Pheophytin量、単位有機物量当たりの酸素消費量などの層別分布をみると、生物膜の肥厚に伴って下層は次第に嫌氣的となり、構造的にも弱くなって、流水まさつによって表層部がはぎとられ、流失することが推定された。このほか、平水時においても、流下する固形物(たとえば落葉など)によって、生物膜がかき取られ流失することもありうる。

11. 一次消費者による periphyton の摂取量

年間の季節や洪水の有無によりかなり変動はあるが、上田市付近の千曲川の河床には、カゲロウ類およびトビケラ類の幼虫を主とする底生動物が、およそ300~4000個体/m²、生体重にして2~35g/m²(乾重0.4~7g/m²)生息している。これら底生動物や藻食性魚類による periphyton の摂食量も、この水域における有機物の動き

を考える場合に考慮しなければならない要因である。

藻食性水生昆虫幼虫による摂食量を正確に求めることはむづかしいが、水野⁽⁸⁾は15~30時間の絶食による虫体の胃の中の食物充満度の低下から、ヒゲナガカワトビケラ幼虫(生体重250mg, 11月, 水温7~9°C)では平均して毎時生体重の約0.4%, ナミヒタカゲロウ幼虫(生体重20~30mg, 12月, 水温14°C)では同じく約0.15%の藻類を摂食すると報告している。筆者は千曲川の上田市付近に多くみられるフタマタダラカゲロウ幼虫とウルマーシマトビケラ幼虫について、絶食後3~4時間以内に起る急速な体重の低下から、前者については6月, 水温23~24°Cのときに平均して毎時体重の1.6%, 後者では9月, 水温16~18°Cのときに平均して毎時体重の1.7%に当たる摂食がおこなわれると推定した。しかしこの問題については今後さらに検討しなければならない。

12. 河水中の流下藻の量

河床からはく離して河水中に流出する periphyton の藻類の量を直接測定することはむづかしいが、河水のChl.-a濃度からその概量と変動を推定することができる。上田市の測定地点の影響を受けている下流の坂城町弁橋で、1977年5月から15か月間測定した結果を図10に示した。すなわち、河水中を流下する藻類の量は、年間を通してChl.-aとして1.9~19.6μg/lの範囲にあり、夏期に少なく晩秋から春期にかけて多い傾向がみられる。これは図3の河床のChl.-a蓄積量の季節変化にほぼ合致する。

13. 河水のBOD測定時における流下藻の酸素消費量

図10にはChl.-a量と同時に測定した河水全体と河水中の固形物に由来するBODの測定値が示されているが、このようなBODの中で流下藻が占める酸素消費量の割合を求めるため、千曲川で採取した珪藻、緑藻、藍藻

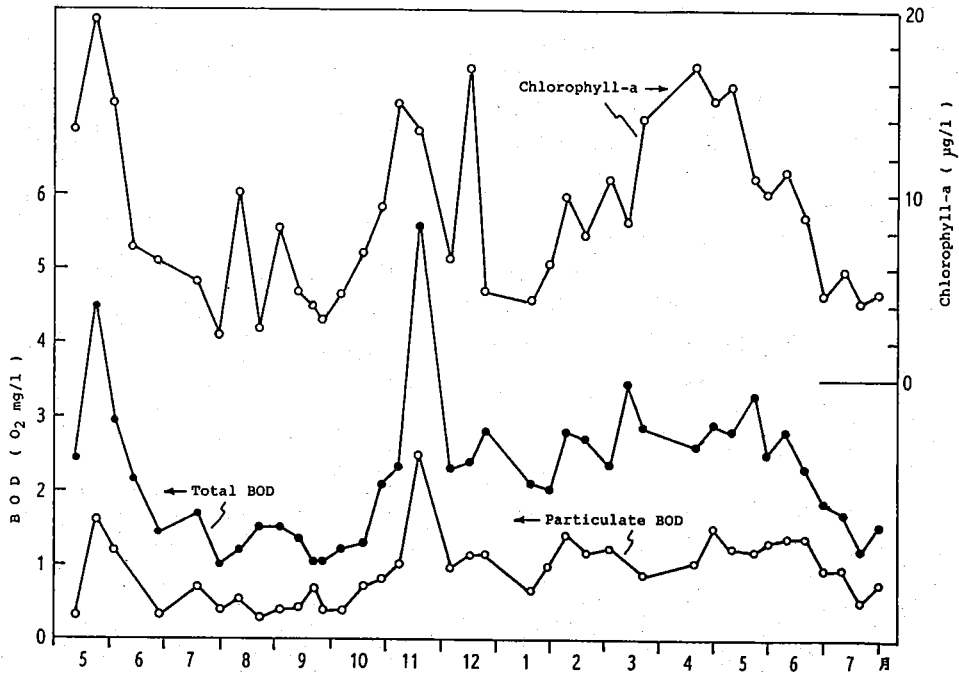


図 10. 千曲川河水(坂城町, 筭橋)のBODとChl. -a濃度の季節変化(1977~78)

(藻類以外の夾雑物の少ない試料を用いた)を河水ろ液中に分散させてBODを測定し, 単位Chl. -a量当たりのBODを求めた。表4がその結果であり, 12~53, 平均30.6 BOD O₂/mg・Chl. -aという値をえた。供試した藻類分散液のChl. -a/(Chl. -a + pheophytin)比は0.67~1.00であった。

14. 千曲川のBODに占める流下藻の寄与率

千曲川の上田市下流地点のBODは, 年間0.97~5.6mg/lで(図10), この水域の環境基準である2mg/lを越える頻度は62%に達する。BODの季節変化と河水中のChl. -a濃度の間には高い相関がみられ, 前項の測定値に基づいて推定した流下藻由来のBODが全BODに占める割合は, 年間5.1~24.7, 平均11.6%であった。また固形物に由来するBODに対する割合は, 年間11.4~57.0, 平均28.3%となった。このような値は, 流下藻のうち比較的活性の高い細胞によるものである。しかし, periphytonの生物膜中には死細胞や藻類以外の有機物も存在し, それらの割合は生物膜が厚いほど多い。また, 表3の測定値をみると, 生物膜の下層からは, 分解した有機物が河水中に溶出することが示唆されている。相崎⁹⁾も多摩川において, 生物膜の発達初期には, 河水中の有機物を分解除去する活性がみられるが, 厚い膜が形成されると, 逆に有機物の溶出が起ることを明らかにしている。これ

表 4. 河水のBODとCOD測定時における流下藻類の酸素消費量

供試藻類	O ₂ mg / mg Chl. -a	
	BOD	COD
<i>Navicula</i> spp.	53.1	35.6
<i>Navicula</i> spp.	35.3	40.6
<i>Navicula</i> spp.	44.7	35.7
<i>Navicula</i> spp.	-	56.7
<i>Navicula</i> spp.	43.5	40.6
<i>Navicula</i> spp.	41.0	35.0
<i>Navicula</i> spp.	34.2	26.7
<i>Navicula</i> spp.	35.7	27.6
<i>Melosira</i> spp.	15.3	29.3
<i>Fragilaria</i> spp.	13.3	28.3
<i>Spirogyra</i> sp.	11.8	51.2
<i>Spirogyra</i> sp.	14.1	40.9
<i>Ulothrix</i> sp.	39.8	28.5
<i>Cladophora</i> sp.	23.1	25.5
<i>Oscillatoria</i> sp.	22.9	59.0
平均	30.6	37.4

らの点を考慮に入れると, 千曲川のような富栄養化した河川では, 河床 periphytonの一次生産に由来する内生有機物の河水BODへの寄与率は, 前記の推定より実際にはもっと大きいものと考えねばならない。

15. ま と め

以上の研究によって、千曲川のような富栄養化河川においては、河道の内部で生産された有機物、すなわち着生藻類がはく離流下して、河水のBODに寄与する割合は、湖沼における植物プランクトン程でないにしても、決して無視できないことがわかった。

このような過程における物質の動きを、すでに述べた測定値を用いて、大まかにまとめると図11のようなになる。すでに報告したように⁽¹⁰⁾、千曲川のような溪流では、外から流入した分解し易い有機汚濁質に対する浄化速度はきわめて大きく、いわゆる自浄係数は、水温11~15°Cの条件下で $k(\text{day}^{-1})=0.61\sim 1.89$ 、平均1.32に達する。しかし一方では内部生産に由来するBOD源が次々に追加され、その平衡の上に現状の水質が結果されているのであろう。

千曲川は、かつての汚濁が最も著しかった時期に比べれば、近年の水質はかなり改善されている。しかし、上田市から犀川合流点の間の流程では、未だにBODの環境基準を越える頻度が高い⁽¹¹⁾。さらに目標値に近い水質を達成するためには、以上述べたような、河道内における有機物の生産を抑制するための、富栄養化防止の対策も必要となろう。

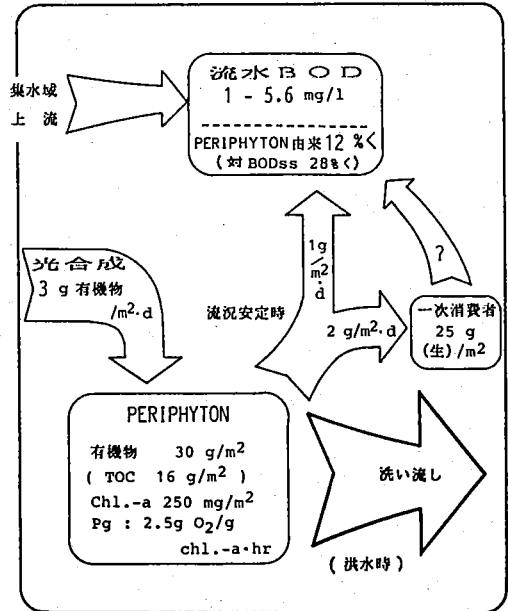


図 11. 千曲川の上田市地点における流況安定時の有機物の動き (概数)

引用文献

- 1) 建設省河川局編；流量年表，昭和50年~58年版。
- 2) 桜井善雄；農業土木学会誌，43，518~524，1975。
- 3) 桜井善雄・ほか；長野県下における浅層地下水汚染の現状，長野県，1~50，1976。
- 4) 桜井善雄・中本信忠；水温の研究，26，3，11~18，1982。
- 5) Aizaki, M. ; Jap. J. Ecol., 28, 123~134, 1978。
- 6) 相崎守弘；陸水雑，41，225~234，1980。
- 7) 田中光・ほか；グリーンエナジー計画成果シリーズ，Ⅲ系，No. 1，166~180，1984。
- 8) 水野寿彦・田中輝義；吉野川の生物生産力の研究，第1号，12~20，1969。
- 9) 相崎守弘；未発表
- 10) 桜井善雄；「環境科学」研究報告集，B207-R12-5，87~99，1983。
- 11) 長野県公害課；昭和58年度公共用水域水質測定結果総括表，1984。