

多摩川の河床に分布する 付着藻類の生態と意義に関する研究

1999年

渡辺泰徳

東京都立大学大学院理学研究科教授

目 次

1 緒 言	1
2 調査地点 地図	2
3 結 果	2
第1部 多摩川における付着藻類の分布	4
第2部 付着藻類の光合成測定法の検討	7
第3部 付着藻類の環境改変作用	11
第4部 早瀬に分布する糸状藻類の分布と生態	16
参考文献	30

河床に分布する付着藻類の生態と意義に関する研究

研究代表者 渡辺泰徳 都立大学大学院理学研究科 教授
研究分担者 大西一博 (前) 都立大学大学院理学研究科
研究協力者 岡田久子 都立大学大学院理学研究科大学院生

1 緒 言

河川の底質である岩盤や礫の上にはさまざまな藻類が生育している。清冽な上流域に分布する川海苔など薄膜状の紅藻類、せせらぎに特徴的に生育する糸状緑藻類、汚濁の進んだ下流域にも多い珪藻類などがそれぞれ、固有の環境に適応して進化してきたものである。これら河川藻類は、その存在によって水面から見える色合いなど景観に大きく影響しているとともに、生物体の生産機能の結果によって、河川生態系の全体構造、すなわち食物連鎖、有機物動態、自浄作用などにきわめて大きく作用を与えている。

従来、河川の藻類は分類の研究や水質指標としての記録が主になされてきたが、多様な藻類が如何にそれぞれの環境に適応し、水質や他の生物群とどのような相互作用を果たしているかについての解析は極めて不十分である。また、藻類はいずれも光合成によって栄養を獲得しているが、非常に不均一な河川環境における光合成生産の実測も殆ど行われていない。本研究は多摩川の付着藻類を調査解析し、また、それらの自然環境下での増殖速度や光合成量を明らかにして生態系の一員としての意義を捉えることを目的としている。藻類の有機物生産は食物連鎖の出発点で河川昆虫や魚を支えている反面、下流側には有機汚濁源ともなる。藻類の果たす機能をとらえる努力によって、河川生態系の生物と環境の相互作用と生物群集内のつながりが考察できるようになるだろう。それらの関係は、人間が手を加えて河川を改変させる場合の影響を予測する際にも意識しなければならない点である。望ましい自然的な河川管理においては、藻類の存在意義とその利用を考えるのが必要であり、本研究はその基礎になることも目標としている。

本研究において、付着藻類の同定ならびに写真撮影については川延京子氏、付着藻類の現存量と光合成測定などの野外調査については都立大学理学部の大学院生・学生、田万植、片野俊也、矢代幸太郎の諸君の協力を得た。感謝する。

本研究の一部は「とうきゅう環境浄化財団学術研究助成金によっておこなわれた。ここに深く謝意を表す。

2 調査地点 地図

本研究は多摩川上流部（丹波川・日原川を含む）から下流部丸子橋までの淡水区間全域について、現地 調査・試料採取を行った。

- 多摩川に沿って調査し各所で観察したが主な観測地点は以下である。
 - 1) 上流部渓流域 奥多摩湖流入溪流・本流海沢・青梅付近
 - 2) 中流域 羽村取水堰前後・日野橋付近・是政・稲城
 - 3) 下流域 二子多摩川・丸子橋
 - 4) 支流 大栗川 野川
- 付着藻類の季節変化などの継続観察や光合成生産量の測定は上記2)を中心に行った。
- 単離藻類についての実験的研究と実験水路研究は八王子市にある東京都立大学理学部の実験室および屋外研究水路で行った。

3 結 果

本報告所では 研究結果を次の4部に分けて記述する。

- 第1部 多摩川における付着藻類の分布
- 第2部 付着藻類の光合成測定法の検討
- 第3部 付着藻類の環境改変作用
- 第4部 早瀬に分布する糸状藻類の分布と生態



調査地点

第1部 付着藻類の分布

〔方法〕

河川内の藻類の観察と記録は目視スケッチと携帯顕微鏡によって行った。

付着藻類試料の採取は礫の場合は河床から取り上げてピンセットおよびブラシではがしとり河川水とともに持ち帰り、種類の同定に供した。同定は、大型の種類については、生のまま、小型の種類についてはホルマリンまたはグルタルアルデヒドで固定後、光学顕微鏡を用いて行った。河床の礫上における藻類の付着状況を観察するためには、走査電子顕微鏡による観察を行った。

〔結果〕

1 調査地の環境と付着藻類の状況

- (1) 上流部渓流域：奥多摩湖に流入する渓流では、一般に付着藻層の発達は少なく藻類の種類は *Cymbella* や *Cocconeis* 等の付着性の強い小型の珪藻に限られていた。この傾向は奥多摩湖より下流の本流海沢や白丸付近でも共通していたが、局所的に付着層が厚く発達する場所も観察された。それは大きく二つの特徴に分けられた。一つは、河床が岩盤または大きな岩の場所で、水流が安定していると推定される場所で、ここでは紅藻カワモズク？の類が寒天質のマットを作っておりその内部には他の藻類の混在は少なかった。この様な場所では川底が黒く見えるのが景観的な特徴である。上流域で厚い付着層の発達が見られたもう一つの場所は、河岸から、人家や飲食店の排水が少量流入し且つ日照条件の良い水域で、糸状緑藻の *Stigeoclonium* や、球形の小型緑藻、珪藻、らん藻が共存していた。このような場所では川底は緑から緑褐色に見える。
- (2) 中流域：羽村取水堰下流から永田橋、日野橋、是政～稲城、までの範囲を観察した。上流側での付着藻類の発達は特に著しくはないが珪藻と緑藻の比率が次第に増加し、(1)に見られた紅藻は観察されなかった。秋川、浅川、大栗川等の支流が合流するにしたがって、付着藻類の厚さが増加する傾向が見られた。また、上流域では水深の違いによっても、付着藻類の分布量、景観、種類組成の変化が少なかったのに対し、中流域では、水深や、流速など河川構造のわずかな違いで、付着藻類の状況に大きな違いが見られたのが特徴であった。岸よりの浅く流速の小さい域ではアオミドロなどの糸状緑藻が発達していた。また、深く流速の小さい河床では有機懸濁物の堆積が多く、付着藻類の量は逆に減少していた。

(3) 下流域：水中の栄養塩濃度が増加した二子多摩川でも、水深の小さい平瀬の部分では中流域と同様の付着藻類の状態が観察されたが、流れの遅い場所では有機堆積が多く、付着藻類の発達は貧弱で礫の裏側に硫化物黒化や悪臭が認められ、発酵・硫酸還元など嫌氣的過程が進行していた。なお、本研究では丸子橋より下流感潮域での観察は行わなかった。

2 出現した付着藻類

本研究で同定確認した付着藻類のリストを表1-1から1-3に記載する。また、中流域の礫上の藻類分布の走査電子顕微鏡による観察写真を図1-1に示す。

表1-1 多摩川上流域で確認された付着藻類

No.	綱	種名
1	珪藻	<i>Cocconeis pediculus</i>
2		<i>Cymbella minuta</i>
3		<i>Diatoma vulgare</i>
4	緑藻	<i>Cladophora crispata</i> (?)

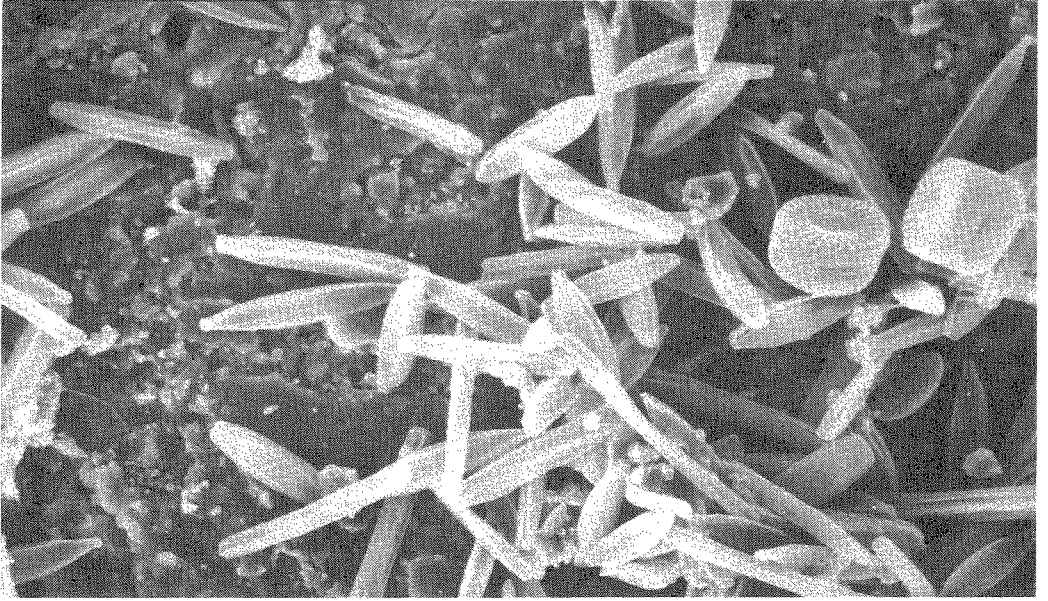
表1-2 多摩川上流域で確認された付着藻類

No.	綱	種名
1	藍藻	<i>Lyngbya</i> sp.
2	珪藻	<i>Achnanthes lanceolata</i>
3		<i>Achnanthes minutissima</i>
4		<i>Achnanthes rostrate</i>
5		<i>Achnanthes</i> sp. (cf. <i>Ach. japonica</i>)
6		<i>Cocconeis pediculus</i>
7		<i>Cocconeis placentula</i>
8		<i>Cymbella minuta</i>
9		<i>Cymbella turgidula</i>
10		<i>Cymbella sinuata</i>
11		<i>Diatoma vulgare</i>
12		<i>Fragilaria capcina</i> var. <i>vaucheriae</i>
13		<i>Gomphonema minutum</i>
14		<i>Gomphonema parvulum</i>
15		<i>Gomphonema quadripunctatum</i>
16		<i>Gomphonema</i> sp.
17		<i>Melosira varians</i>
18		<i>Navicula cryptotenella</i>
19		<i>Navicula decussis</i>
20		<i>Navicula gregaria</i>
21		<i>Navicula oppugnata</i>
22		<i>Navicula yuraensis</i> (?)
23		<i>Nitzschia amphibia</i>
24		<i>Nitzschia dissipata</i>
25		<i>Nitzschia romana</i>
26		<i>Nitzschia</i> spp.
27		<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>
28		<i>Suriella angusta</i>
29		<i>Synedra inaequalis</i>
30	緑藻	<i>Chaetophora</i> sp.
31		<i>Cladophora crispata</i> (?)

表1-3 多摩川上流域で確認された付着藻類

No.	綱	種名
1	藍藻	<i>Lyngbya</i> sp.
2	珪藻	<i>Achnanthes</i> sp. (cf. <i>Ach. japonica</i>)
3		<i>Cymbella minuta</i>
4		<i>Cymbella sinuata</i>
5		<i>Fragilaria</i> sp.
6		<i>Navicula</i> spp.
7		<i>Nitzschia</i> spp.
8		<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>
9	緑藻	<i>Cladophora crispata</i> (?)

A



B

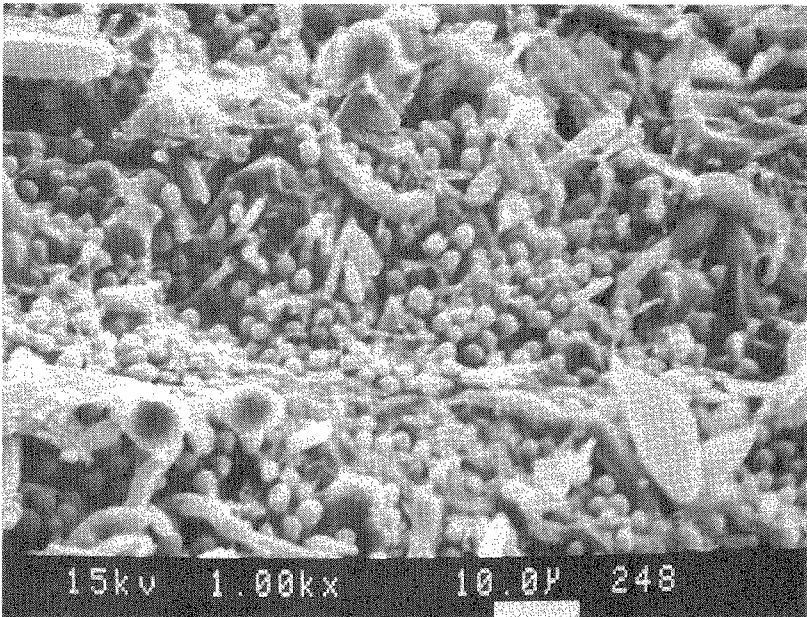


図1-1 走査電子顕微鏡で観察した多摩川中流域の付着藻類

A : 平瀬の礫上の珪藻を主とした群落

B : やや流れの遅い瀬上のらん藻、緑藻を主とした群落

第2部 付着藻類の光合成測定法の検討

〔はじめに〕

河床の岩盤や礫の上には細菌・藻類・原生動物などによる付着微生物群集が生息している。このうち、光合成生産者である付着藻類は水生昆虫や魚類を含む河川食物網の出発点の生物として重要である。また、光合成時に付着藻類が発生する酸素は有機物分解をになう好気性細菌にとって重要な酸素供給源である。このような重要な機能を持つにもかかわらず、現場条件下での付着微生物群集の光合成・呼吸速度の測定研究は遅れている。これまで実験水路や人工付着版での測定はいくつか報告されているが、河川現場での測定例は非常に少ない。

本研究では、多摩川中流域の礫河床における付着藻類の自然条件下での光合成・呼吸速度を容易に実測するための方法を検討した。また、その方法を用いて、各種の環境条件下での比較測定を行い、一般的な傾向の検出を目指した。

〔方法〕

光合成の測定には、生物体現存量、発生する酸素の増加量、減少する二酸化炭素量等の経時変化から推定する方法があるが、本研究では付着藻類の場合にもっとも適していると思われた、溶存酸素の変化を測定する事とした。また測定のスケーलについては長距離の流路全体での物質収支から推定する大スケーलの方法もあるが、多摩川河床のように環境構造の変化が大きい場所では、そのそれぞれの場所での測定を行うのが望ましく、小スケーलでの測定法の開発が適していると判断された。本研究では次の2方法を検討した。

- (1) プラスチック膜隔離ー溶存酸素計法：ステンレス針金で縦50cm横50cm高さ20cmの直方体の骨組みを作り、周囲をレトルトシール用のプラスチック膜で包む。その内部の浅いステンレス皿に河床の礫を出来るだけ自然状態を再現して並べ、残りの空間を現場の流水で満たす。水深20cmより深い河床にこの装置を設置し、フィルムの一部に溶存酸素計の電極をセットして、溶存酸素濃度の変化を記録する（酸素計とレコーダーの電源は小型発電器から得た）。隔離水体内部は流れが止まるが、外側の流れの動きによってプラスチック膜が揺れ動き、内部の水は適当に攪拌される。測定終了後、測定した礫の面積と付着物量を測定、また、水体の容積を求めて面積あたりの酸素吸収・放出速度を算出した。

写真2-1に中流調査地で測定した際の、設置状況を示す。



写真 2 - 1 測定装置の設置状況
溶存酸素計、レコーダー、発電器が見える

(2) プラスチック袋-酸素ビン法：酸素透過性のないプラスチック袋（ワールパック、10 x 20cm 容積約500ml）にコック付きのガラス管をさし込み、内部に付着藻類のついた礫を1～3個封入する。内部を流水で満たしたのち、袋を外から押して水をコックから50ml酸素ビン2ヶに採取（酸素濃度の初期値を求める）、コックを閉じた後、袋を河川の適当な場所においてインキュベートし一定時間（通常30、60、120分）後に、同様の操作によって内部の水を酸素ビンに採取する。終了後、袋内の付着物量（面積）、水の容積、酸素ビン内の溶存酸素濃度を測定して、酸素吸収・放出速度を算出する。途中の採水による袋内の水量変化の影響による酸素濃度変化を補正して開始時からの変化を推定した。図2-2に河床に袋を設置した場合の概念図を示す。

[結果と考察]

(1)、(2)のどちらの方法によっても、明条件と暗条件では酸素濃度に異なる変化が記録された。また、測定の容器に付着藻類の付いていない礫をいれた場合には、その濃度変化が検出されなかったため変化は河床付着藻類の光合成と呼吸によるものと断定した。しかし、付着藻類は、河床上で細菌、菌類、原生動物、小型の水生昆虫幼虫等と共存し

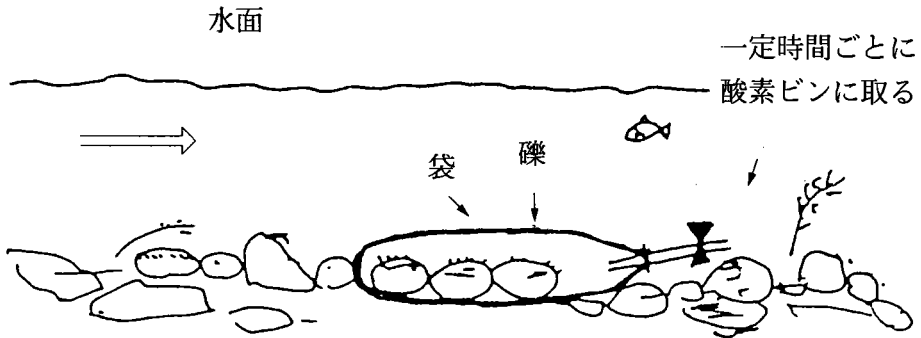


図2-2 プラスチック袋法の設置概念図

て生物群集として存在しているので、得られた値は、正確には付着藻類を優占とする微小生物群集の代謝によるものと定義しなければならないだろう。測定は雨天から、快晴まで、各種の天候条件下で行ったが、いずれの場合でも、インキュベートが2時間以内であればほぼ直線的な変化が得られたことから測定時に容器内で変化する、酸素、二酸化炭素濃度、栄養塩類の影響は無視できると考えられた。測定が長期間になるとこの影響がで、また、測定上の誤差も大きくなるので、2時間程度で明確な変化がでる生物量を選択する必要性が認められた。

これらの2方法を比較すると次の特徴が明らかになった。(1)法は、光合成・呼吸による酸素濃度変化の連続的な記録が出来るのが長所であるが、操作に労力と時間がかかり、また、測定の例数を増やせないのが短所であった。(2)法は簡便で測定例を多くできるのが長所であり、連続測定が出来ないのが短所であった。

両方法を併用して測定した結果、以下の傾向が見いだされた。

光合成生産速度は中流域の早瀬および平瀬では春から夏の晴天の日にはおよそ、 $2.5 \sim 5 \text{ g O}_2/\text{m}^2/\text{日}$ (有機物炭素換算で $1 \sim 2 \text{ g C}/\text{m}^2/\text{日}$) の値となる。この値は以前の研究(渡辺1990)で得られている付着微生物層の現存量増加速度とほぼ対応すると考えられた。

礫の面積当たりの付着藻類クロロフィル量が高いほど面積当たりの光合成速度が高くなるが、クロロフィル量当たりの光合成速度は逆に低くなる。これは礫上の付着膜が厚くなると内部への光透過量が減少するのが原因であると推定される。

付着藻類量がほぼ同じ条件で測定すると、水深の浅い場所では晴天時に強光による光合成の阻害現象が起こる(近紫外線の影響の可能性が高い)。

今後、測定時容器内での流れの阻止、密閉の影響などについて検討しなければならない

い課題は多いが、これらの方法を利用した測定例が蓄積すると一般的な評価が可能になると思われる。

いずれの方法でも、付着面積・生物量の評価法は難しい面があり、現場の環境条件と藻類組成に対応した装置と試料の選択、例えば凸凹の河床での面積の表示法、岩盤が大きい場合の容器の設置方法などを徐々に検討しなければならないだろう。しかし、ガラスなどが割れやすい河川現場においてまったく研究が進まなかったのを、柔らかで酸素透過性の低いプラスチック素材を利用して測定結果を示せたのが本研究の特徴であって、原理的には複雑な測定ではない。これらの操作しやすい方法の開発によって測定例が増えて、河川付着藻類の機能研究がおおいに進むことが期待される。付着藻類の種類、生育状態など藻類面での違いとともに、水深、水質、河床基質の影響など環境面での違いを総合的に解析するのが、河川付着藻類の生産力研究について特に重要になると考えられる。

第3部 付着藻類による環境改変機能の検討

〔はじめに〕

河川において付着藻類の果たす生態的役割は非常に多様である。食物連鎖の基盤として生物群集を支えていることに加え、小型生物の住み場所としても重要である。それらの中で、藻類の光合成機能にもとづく、環境改変作用は河川水質に対して特に大きく影響する。

すなわち、藻類の生産する酸素は水中において、好気性微生物によって行われる汚濁有機物の酸化分解に不可欠であり、流れが遅く河川水の乱流による大気からの酸素入力が多く且つ汚濁の進んだ下流域では自浄作用にきわめて大きく作用を与えているだろう。しかし、これまで自浄作用と付着藻類の関係についての明確な研究はなされていない。また、藻類はいずれも光合成によって栄養特に炭素を大気-水中から獲得しているが、同時に、成長に必要な窒素やリン等の栄養元素を吸収している。したがって、流入処理廃水などに由来する栄養塩を除去、下流での有機物生産を抑える役割も藻類の役割として重要である。

我々は以前の研究において付着微生物による有機物動態に対する影響を報告したが、藻類の作用の解析については不十分であった。本研究では、多摩川から採取した藻類の付着した礫を用いて、その機能を実験的に示すとともに、第2部で示した光合成の測定によって得られた活性と多摩川現場において測定した付着藻類現存量をあわせた解析から、栄養元素除去等の機能について推定を行った。

〔方法〕

(1) 藻類及び付着生物の現存量

現存量の測定は25 x 25cmのコドラートによって試料を採取し、数点の平均を求めた。藻類量の測定は、その形態によって異なるが、細胞数・体積、乾重量・クロロフィル量などによって行ったが、本報告では、特に有機体の炭素、窒素、リンをもって定量表示した値を用いて解析データとした。これらの測定は河床の礫からブラシではがしとった試料の一定量をろ集し、元素分析器および吸光度法によって行った。

(2) 付着藻類による河水からの栄養元素吸収の測定

屋外に設置した水槽に河川水を満たして、底に中流羽村で採取した藻類の付着している礫をならべた。水はスターラーと通気ポンプによって緩やかに混合攪拌し河川の状況に近づけた。この実験系を並列して、光条件と水質条件を調節して連続観察し、

経時的に、水をサンプリングして付着藻類による栄養元素除去作用を実測した。栄養元素の測定としては、リン酸態リン（アスコルビン酸法）、亜硝酸および硝酸態窒素（硫酸ヒドラジン法）、アンモニア態窒素（インドフェノール法）、および、元素分析器による付着物の分析を行った。藻類の測定はクロロフィル a 量を指標とした。

〔結果と考察〕

(1) 付着藻類現存量

表 3-1 に各調査地について測定された河床付着藻類の現存量を示す。但し、これは藻類だけでなく、細菌や菌類、原生動物およびそれらの遺体を含む量である。付着藻類の現存量は季節的にも、水平分布的にも変動が大きい。現存量の測定項目の比率については、上流から下流に向かって次の傾向が見られた。・有機炭素に対するクロロフィル量の比率は低下する。・有機炭素に対する有機リン量の比率は増加する。測定例が多くないのでこれらの原因については、確実な説明は不可能だが、おそらく前者は下流に向かって生物遺体や従属栄養性物の増加によって付着層の全体に対する藻類量の比率が低下するためと思われる。また、後者は、下流に向かって支流や流入排水の影響で河川水中のリン酸の比率が増加しそれが付着藻類に取り込まれるためと考えられる。この傾向は以前にも多摩川において観察されている（渡辺ら1975）。この現存量の値をもとにすると、次に記す付着藻類の光合成生産による栄養元素吸収に

表 3-1 多摩川の付着藻類現存量

年月	96.5	96.8	97.8	97.11	98.7
調査地	梅沢	青梅	日野	永田橋	二子玉川
クロロフィル a (A) (mg/m ²)	89.2	70.3	170.5	370.7	296.5
A/B	0.011	0.014	0.0085	0.0097	0.0083
有機炭素(B) (g/m ²)	8.46	4.91	20.02	38.11	35.52
有機窒素(C) (g/m ²)	1.02	0.64	2.08	4.95	3.78
C/B	0.121	0.130	0.104	0.130	0.106
有機リン(D) (g/m ²)	0.076	0.051	0.270	0.420	0.510
D/B	0.009	0.010	0.013	0.011	0.014

ついでに推定が可能になる。

(2) 光合成速度からの推定

付着藻類の光合成速度の実測例を表 3 - 2 に示す。

表 3 - 2 多摩川付着藻類の光合成生産速度

年月	96.5	96.6	97.8	97.11	98.8
調査地	羽村	永田橋	日野	永田橋	永田橋
純光合成速度 ($\text{mgO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)	470	247	820	270	345

付着藻類の現存量の変動は大きいにもかかわらず、光合成速度は比較的安定した値を示した。これは、面積当たりの付着藻類量が多くなると、すなわち付着層が厚くなると、その内部に到達する光が不足し、また藻類自身および共存する従属栄養生物の呼吸速度が増加することに起因すると考えられる。

そこで、平均的な値、 $400\text{mgO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ を用いて、以下の推定を行った。もちろん、天候条件や水深や流水の変動影響などが光合成速度に影響を与えているが、一般的な現象の推定にはこれらの変動を無視して行わざるを得ない。一日の日照時間、酸素発生と二酸化炭素取り込みの比率を考慮すると、この値は、1日あたり 2.1g 炭素/ m^2 の有機炭素生産と計算される。これは、表 3 - 1 に示した、炭素現存量のおよそ10%弱に相当する。従来、人工付着板や新しい礫を加えた場合の付着藻類層の形成は10日から3週間でほぼ最大現存量に達するとされてきたので、この光合成生産速度の推定はそれと良く一致するもので妥当性も高いと考えられる。

したがって、現存量における炭素に対する窒素およびリンの比率から、付着藻類の栄養元素吸収量は1日、 1m^2 あたり、窒素 0.25g 、リン 0.023g と計算される。

(3) 実験による栄養元素の取り込み速度

図 3 - 1 に付着藻類による栄養元素の取り込みと放出の実験結果を示した。はじめに入れた永田橋の河川水は、まだ、支流や排水の流入がないため、リンも窒素も低濃度であったので、流入下水を添加した場合の濃度変化を明・暗両条件で比較した。その結果、明条件では2回におよぶ下水添加の影響を打ち消すほどのリンおよび硝酸態・アンモニア態窒素の吸収を示した。しかし暗条件では下水による栄養塩増加を打ち消す効果は見られず、それ以上に付着層から水中への栄養元素放出を招くことが示

された。それは特に、アンモニア態窒素で著しかった。これは明条件では付着藻類の光合成による酸素発生によって、好気的な硝化細菌が行うアンモニア態窒素から硝酸態窒素への変換が進むのに対し、暗条件では、付着層の有機物分解で生じるアンモニアがそのまま増加するためと考えられた。

この実験系では、付着藻類の面積と河川水量の比率が流れのある自然条件と大きく異なっているので、この結果を直接、現場での取り込み速度の推定には適用できないが、前節で示した、付着物現存量と光合成機能からの推定を実験的に指示する結果と言える。今後、河川現場での大がかりな実証研究によって自浄作用に対する付着藻類の意義を明らかにする必要があると思われる。また、その活性を河川環境の改善に積極的に利用するために流路の水深や護岸形態での凹凸面積の増加、日照条件を検討するのが有効であろう。

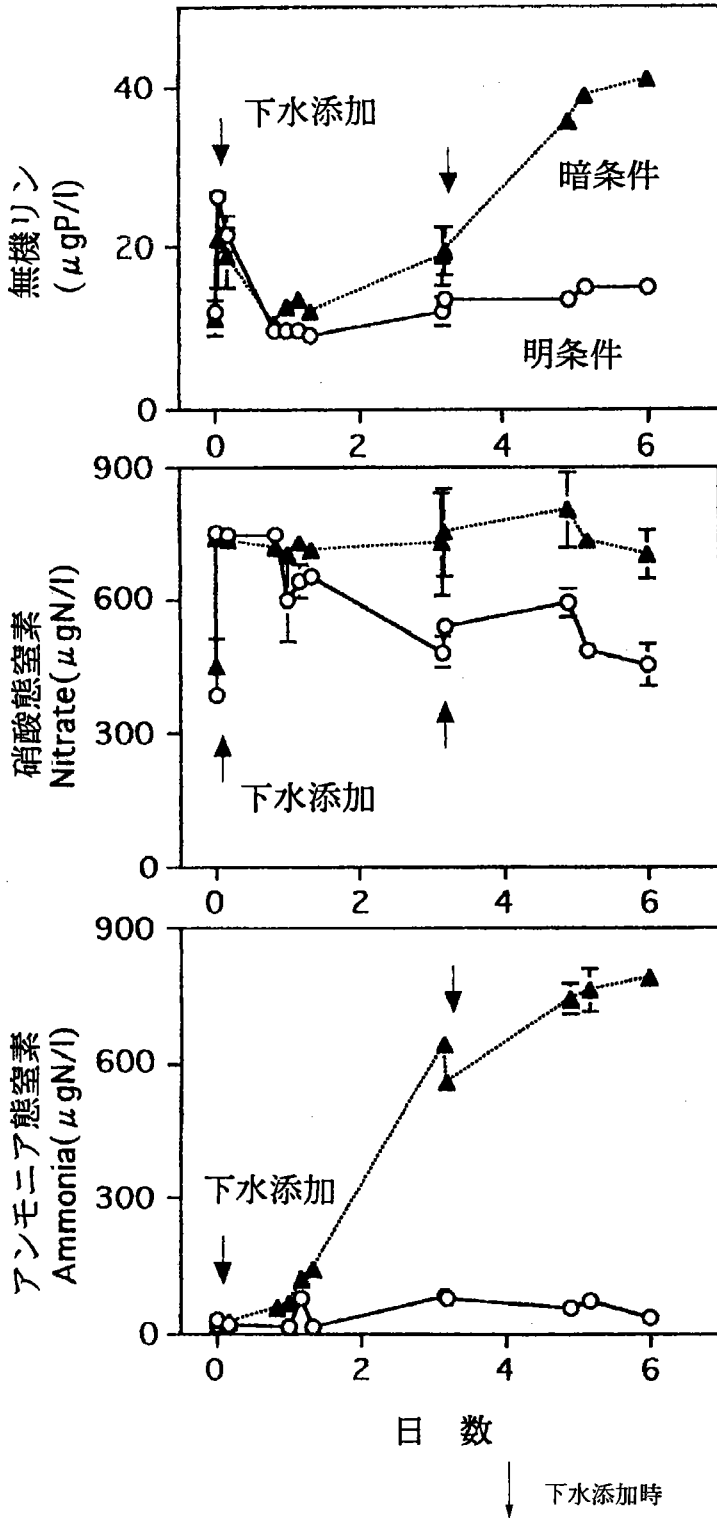


図3-1 実験1での培養期間中の無機リンと無機窒素濃度の変化

第4部 早瀬に分布する糸状緑藻の分布と生態

多摩川中流域の河床には、緑色の鮮やかな糸状緑藻がパッチ状に生息しているのがしばしば観察され、河川の早瀬に特徴的なものとして興味深い。早瀬の速い流れは糸状緑藻を捕食する生物や競争種を剥離する。また、流速がある程度大きい方が付着藻類の増殖・栄養塩の取り込み、光合成や呼吸の速度が高くなることが多くの研究で示されている。さらに水深が浅いために生育に必要な光を十分に受け取れる。一方、早瀬に生息する糸状緑藻は、匍匐糸状体や基部細胞の仮根状突起などよく発達した付着機構を持ち、直立した糸状体を基部で支えることができる。他の生物より付着機構が発達していることにより、速い流れによる剥がれ落としに耐え早瀬に留まることができる。糸状緑藻にとって早瀬は、捕食者や競争者のいない、光環境の良い、成長に有利な環境といえる。

従来、河川の糸状緑藻は分類学の研究(Hoek, 1963)および水質の指標としての分布の記録が主になされてきた。また、糸状緑藻の生活史については、*Cladophora glomerata*の記録(広瀬、山岸1977)などがある。しかし、糸状緑藻の生態を解析した報告は少なく、多くの種の生息状態は明らかにされていない。また、早瀬での現存量についての情報や水流が糸状緑藻の発達に与える影響についての知見も充分ではない。

糸状緑藻の生育要因を解析するためには、流速・水深という物理的環境要因との関係で研究を進めることが不可欠で、その際には捕食生物・競争種の影響についても明らかにしなくてはならない。また、河川の水質という化学的要因との関係でも研究を進める必要がある。

本研究では、河川の早瀬の環境を解析し糸状緑藻の生息要因を明らかにすることを目的として東京都の多摩川本流において調査した。とくに早瀬における糸状緑藻の分布と成長過程を調査し、早瀬の環境を解析した。糸状緑藻の現存量は洪水や渇水などの自然環境条件により大きく変動すると考えられる。そこで、糸状緑藻の自然環境下での動態を解析するために、(1)人工基質を河川に浸漬し、糸状緑藻が新しく付着成長する過程の調査と(2)糸状緑藻が付着している礫を異なる場所に異動させて付着被度の変化を観察する現場・室内実験を実施した。これらの結果から、糸状緑藻の発達に対する河床変動の影響を解析し、早瀬における糸状緑藻の生息要因を考察した。

〔研究方法〕

(1) 糸状緑藻の分布調査

多摩川の上流から下流までの縦断的な分布調査と、中流域での詳細な分布の記録を並行して行った。縦断調査では、奥多摩から、青梅、羽村、永田橋、日野、府中、

稲城、登戸、二子玉川、丸子橋、大師橋までの各地点で、河岸を歩き、多様な環境条件の場所で出現の有無を記録した。中流域での調査は、永田橋(Station-1)府中(Station-2)稲城(Station-3)の3箇所を主調査地とし、コドラートとライントランセクトを設けて、細かいレベルでの水深、流速などの環境観測と糸状緑藻の分布を詳しく調べた。

調査時には、河川中の礫に付着していた糸状緑藻の藻体をピンセットで採取し、5%のホルマリンで固定して実験室へ持ち帰り、位相差顕微鏡(ニコン社)を用いて種の同定をした。また、現場でも携帯用実体顕微鏡(ニコン社 NatureScope)を用いて補助的な同定作業を行った。分布状況と礫への付着被度は手書きスケッチと写真撮影で記録した。付着量の測定には、河床の礫状の被度を測定した。水深測定は河床から水面まで物差しを用い測定した。流速は水深のほぼ1/2の深さでプロペラ型流速計(YEW-CR7 Model3631)を用いて測定した。水温は棒温度計とサーミスタで測定した。

(2) 付着過程の調査

① スライドグラスへの付着

Station-2で、約20枚のスライドグラスをプラスチック・フレームにクリップで固定し、これを流速34-43 cm/s・水深10-17cmの河床に沈め現場の礫を積んで流されないようにフレームを固定した。経時的に毎回3枚のスライドグラスをフレームからはずして、1枚は水に浸した状態で実験室に運び、倒立型顕微鏡写真撮影装置(Olympus社)で撮影記録した。また、残り2枚はホルマリン固定して保存し、位相差顕微鏡で観察し、種を同定した。

② コンクリートブロックへの付着

Station-2で、約20cm×20cm×10cmの3個のコンクリートブロックを流速約80cm/s・水深9cmの河床に沈め、経時的に糸状緑藻の付着被度を手書きスケッチと写真撮影で記録した。記録後、藻体の一部をピンセットで採取し(1)と同様に、種を同定した。この際、付着被度は糸状緑藻の色(成長の活発な緑色と分解途中の茶色)により区別した。

(3) 付着礫の移動実験

Station-2で糸状緑藻が付着している礫を流速と水深の異なる場所に移動し、糸状緑藻の付着被度の変化を手書きスケッチと写真撮影で記録した。また、藻体の一部をピンセットで採取しその形態を位相差顕微鏡で観察し、顕微鏡写真撮影装置(ニコン社 Microflex UFX-II)で撮影記録した。また、単位面積当たりの藻体をピンセットで

採取し、単位面積当たりのクロロフィル a と乾重、乾重当たりのクロロフィル a を測定した。クロロフィル a はメタノール抽出後に蛍光光度計 (HITACH社 Fluorescence Spectrophotometer) を使用して蛍光法で測定した。乾重は60°Cで2日間乾燥後電子てんびん(Delta Range社 Mettler AT261) を使用して測定した。開始時に使用した付着礫において同じ水流が当たる面を、付着被度の変化を観察する部分と種同定やクロロフィル a や乾重測定用に採取する部分とに分けて、上記の実験を実施した。

(4) 室内実験

Station-2 で糸状緑藻が付着している礫をサンプリングし、水に浸した状態で実験室に運び、河川水を満たした水槽に入れて太陽光下に設置し、通気の有無・異なる光条件で付着被度の変化を5日間観察し、写真撮影で記録した。水槽に白布を被せることにより光条件を100%・6%・0%の3段階に分け、またそれぞれエアポンプにより水面が波立たせて通気するものとししないものの合計6通りの条件を与えた。

[結果および考察]

(1) 出現種

本研究で確認した糸状緑藻を表4-1に示す。観察された付着糸状藻のうち最優占種は *C. glomerata* であった。この種は形態的変異に富み、淡水域の様々な環境下で見られる種であることは Hoek (1963) らに指摘されている。本研究でも *C. glomerata* は多摩川本流の上流から下流までの淡水域全域に存在していたが、感潮域の丸子橋・大師橋には存在しなかった。本種は窒素やリンが制限栄養塩で、富栄養化の結果として増殖が活発となり大発生することがあり (Dodds, 1992)、時には1 m以上にまで体が成長することがある (Canter-Lund, 1995)。本研究でも特に下水排水が流入する水域で多く確認でき、中には20 cm以上の藻体も存在した。

Stigeoclonium spp. は汚濁に強い種に含められるが (Palmer, 1955)、本研究でも Station-1 より上流域の本流には確認できなかった。また、上流域の奥多摩や Station-1 でも排水溝には存在していたことから、水質の良い場所では生育できないことが示唆される。

本研究で *Rhizoclonium* spp.・*Chaetomorpha* spp. は小数であるが礫に付着しているのを確認できた。また、苔蘚植物の *Amblystegium riparium* (Hedw) B. S. G. (ヤナギゴケ) にからんで存在していることも多かった。これらの種は用水路などの側壁に生育することが多いため、(堀, 1994)、採取場所の上流に流入する用水路でこれらの種が繁茂している可能性がある。

表 4 - 1 多摩川で観察された付着性糸状緑藻

調査地	出現種			
1. 奥多摩	<i>Cladophora glomerata</i>			
2. 青梅	<i>C. glomerata</i>			
3. 羽村	<i>C. glomerata</i>			
永田橋 (Station 1)	<i>C. glomerata</i>	<i>Ulothrix</i> spp.		
4. 日野	<i>C. glomerata</i>	<i>Stigeoclonium</i> spp.		
府中 (Station 2)	<i>C. glomerata</i> <i>Chaetomorpha</i> spp.	<i>Stigeoclonium</i> spp.	<i>Ulothrix</i> spp.	<i>Rhizoclonium</i> spp.
稲城 (Station 3)	<i>C. glomerata</i> <i>Chaetomorpha</i> spp.	<i>Stigeoclonium</i> spp.	<i>Rhizoclonium</i> spp.	
5. 登戸	<i>C. glomerata</i>	<i>Stigeoclonium</i> spp.	<i>Rhizoclonium</i> spp.	
6. 二子玉川	<i>C. glomerata</i>	<i>Stigeoclonium</i> spp.		
7. 丸子橋	.			
8. 大師橋	.			

Ulothrix spp. は富栄養化の水質を示す Station-2 と水質の良い Station-1 で確認できた。*Ulothrix* spp. は水質の良い場所を好むとされ、本研究でも Station-1 の湧水が流入する水域に特に多く存在してした。しかし、この属の中で *Ulothrix zonata* は富栄養化の水質にも強いと報告され (Sladeczek, 1991) ており、Station-2 で確認したのはこの種と考えられた。

(2) 現存量の変動

① 季節変動

中流、稲城の河床で測定された糸状緑藻の付着量季節変化を川の水位、降水量、水温とともに図 4 - 1 に示す。糸状緑藻は 3 月中旬に増加し始めたが、これは光量の増加と水温の上昇に起因すると考えられる。*C. glomerata* は冬期や真夏には藻体の育成が悪く、成長は春や秋に活発である (新山 : 1986、Van den Hoek : 1963) との報告があるように、本研究でも 5 ~ 7 月と 10 月に現存量のピークが見られ、8 月

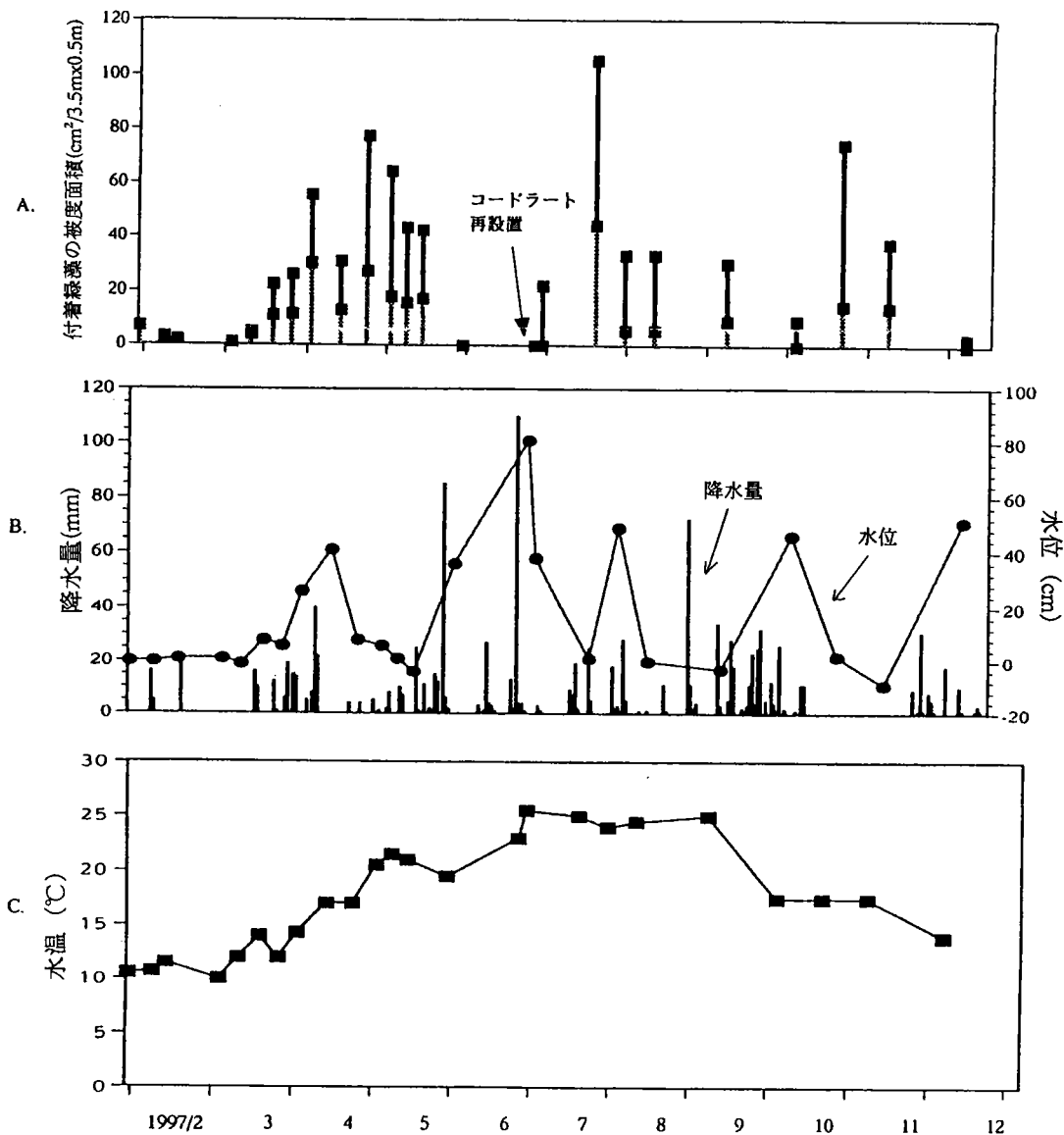


図4-1 多摩川中流（流域）における糸状緑藻の季節変化

には減少が見られた。8月の水温は日中は30 $^{\circ}\text{C}$ 前後となり高温が真夏の現存量減少の要因である可能性がある。また、藻類現存量が夏に少なくなるのは、高い摂食圧によるとの報告があるが、大型藻類である*C. glomerata*は餌として好まれない (Dods, 1991) ことを考慮すると本研究での真夏の減少の原因としての可能性は小さいと思われた。12~3月初旬には、糸状緑藻はほとんど存在しなかったが、この時期には球形の緑藻の付着が観察された。*C. glomerata*は通常無性的な2鞭毛の遊走子

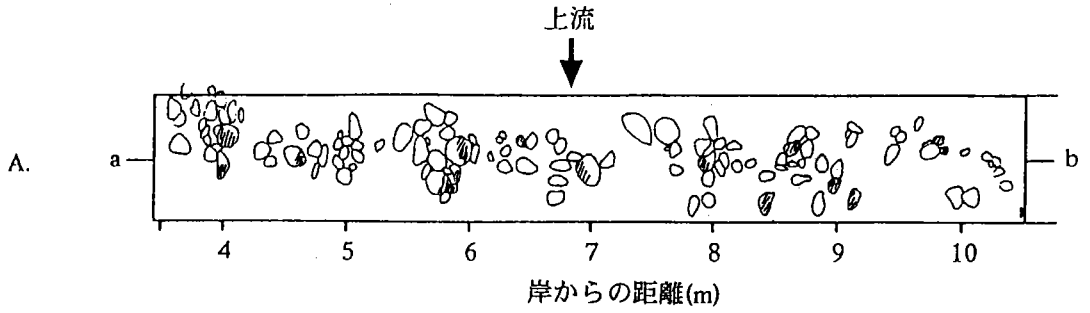
によって生殖が行われる。遊走子の形成は藻体の成長が活発な春や秋に多く、この球形緑藻は秋に形成された遊走子が休眠している状態である可能性がある。しかし、種の同定をすることはできず、今後培養等により種同定を行う必要がある。

② 河床変動に伴う変動

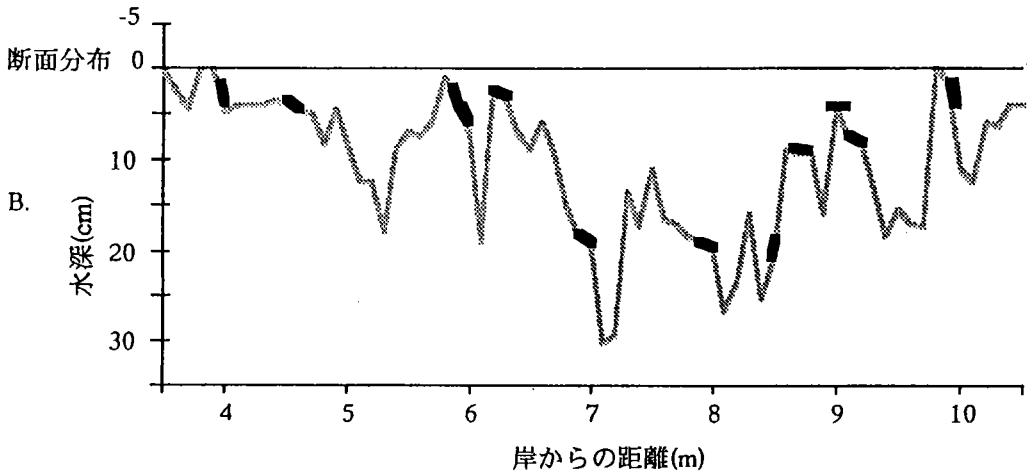
河川の形態は、深く流れの遅い「淵」と浅くて流れの速い「瀬」から構成される。特に瀬は平坦な「平瀬」と白波がたつ程に流れの速い「早瀬」に分けられる。平瀬－早瀬－淵とその順序は一定しておりこの一組は川の単位形態と呼ばれる。本研究でもStation-1の早瀬を含む50m×30mの水域での河床構造の調査で平瀬－早瀬－淵の単位形態が認められた。河川はしばしば降水の影響で水量が増えて水位が上がり、河床の土・砂・礫が移動して河床構造を変える。Station-1では通常水深30cmの流量では河床の礫は移動しないが、水位が1.5m程度になると移動し始める。1996年9月の洪水では水深は2～3mになったと推定され、川岸に「えぐり取られ」が確認できた。実際、本研究でコードラートを設置した早瀬自体が降雨の影響で消失したことからその影響の大きさが伺える。降水により水位が上がり河床が変動したことによる付着藻体の剥離や、付着していた礫が流されて移動したことにより、出水直後に現存量が減少したと考えられる。また、降水が降らない場合も水位が下がり、糸状緑藻に被われていた部分が水面から露出することによる現存量の減少も考えられる。降水の有無は糸状緑藻の現存量に影響を与える重要な因子となっている。稲城に設置されたコードラートにおける糸状緑藻の平面および縦断面分布を図4-2に示す。

糸状緑藻が発達するのは細かい堆積物が積もらない程度に水流が強い場所が大部分である。水流は糸状緑藻の藻体のはぎ落としや流下など引き起こす。洪水としてさらに水流が強くなると基底から大型植物を取り除いて、糸状緑藻の遊走子が付着するのに適当な露出基底の環境を作る。水流は、こうした物理的作用のほかに、糸状緑藻に対して生理的な影響も与える。Whitford (1960) は、水流の増加により、*C. glomerata*は無機栄養塩を効率良く摂取できることを報告している。水流は、藻体をしならせ、糸状緑藻の細胞周辺の物質の濃度勾配を急にすることで代謝活性を高めている。

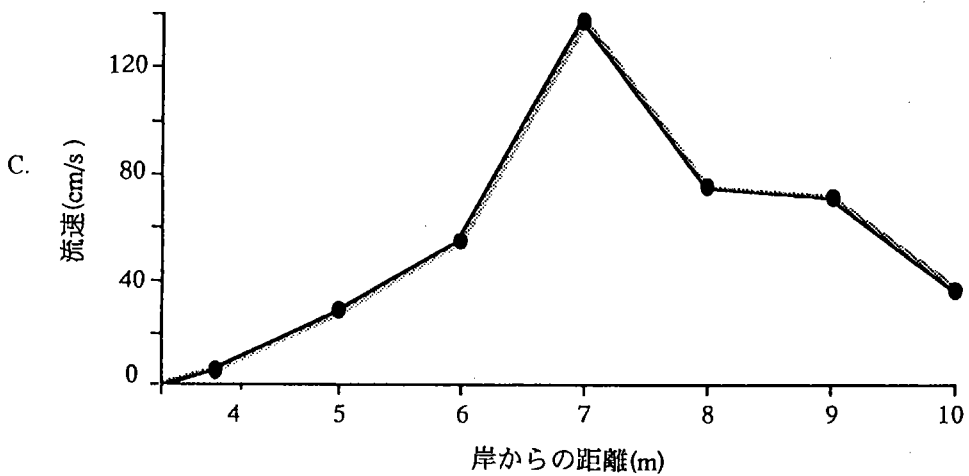
また、糸状緑藻は光強度の影響も大きく受け、春に現存量の増加が見られるのは光量の増加が一因と考えられている。水深が浅ければ成長に必要な光は十分に存在する。また、種の分布にも光強度は影響する。*C. glomerata*は強光を好むとされ、本研究で調査した多摩川本流における糸状緑藻の分布も種特性による光強度は影響していると考えられる。



A : 平面分布



B : 縦横断面分布



C : 流速

図 4 - 2 稲城に設置したコドラートにおける糸状態緑藻の分布

流速40cm/s以上・水深20cm以下の場所に糸状緑藻が多く分布していたことから、流速と水深が現存量を調節する重要な因子となっていることが示唆された。水深20cm以下の浅瀬では光が十分届くと考えられる。また、水深の浅い場所では水温が高く水深の深い場所では水温が低いことが分布に影響を与えている可能性がある。しかし、水深の浅い場所ではその差は1℃程度であり、流速が速いと水温も低くなるためと考えられる。したがって、水温による影響は小さいと考えられた。

糸状緑藻が多く分布していた流速40cm/s以上・水深20cm以下の場所は、糸状緑藻にとって生育に良い環境といえる。河床変動により付着していた礫が生育の良い場所から悪い場所へ移動した場合、付着被度は減少し、最終的に付着は消滅してしまう。藻体が剥離する直前には活性低下により表面にびっしりと細菌が付着する(Aizaki, 1980)。老化した *C. glomerata* の小枝は分離し、密だった藻体の分枝は疎となる(新山、1986)。本研究でも、糸状緑藻の藻体の表面に細菌が付着している *Stigeoclonium* spp. を顕微鏡で観察できた。鮮やかな緑色で付着していた *C. glomerata* の藻体は細胞内に葉緑体が密に詰まって分枝も密であり成長が活発な成長段階であったが、茶色で付着していた藻体は葉緑体のない空細胞を多く持ち分枝が疎で表面に多くの細菌やケイ藻が付着した剥離直前の老化した成長段階であった。流速の大きい早瀬に多く分布する、糸状緑藻はその環境に適応していると考えられる。これを実証するため、早瀬(水深11cm、流速160cm/秒)にあった礫を平瀬(水深13cm、流速15cm/秒)に移動して、糸状藻類の被度の変化を調べた結果を図4-3に示した。

糸状緑藻の付着被度が減少する時間は礫が移動した環境に依存する。水深が浅くても流速が遅く浮遊物の堆積する場所では付着表面が覆われることにより暗くなって3日で20%程度にまで付着被度が減少してしまい、水深が深くても流速が速く浮遊物が堆積せずに光が届く場所だと減少は3日で50%程度である。1mm以下の泥状堆積物で光強度は光合成の補償点以下に低下するとの知見もあり、堆積物の影響は大きい。早瀬と平瀬における水中懸濁物質の河床への堆積速度の測定結果を図4-4に示す。

河川の濁度により光強度が低下することにより糸状緑藻の付着被度が減少することが考えられるが、濁度のやや大きいStation-2で水深30cmでも表面の50%程度の光強度があったことから、早瀬では水深での濁度による影響は小さいと考えられた。

糸状緑藻の生育に対する光強度と早瀬に特徴的な通気条件の影響を検討するため、府中の早瀬から礫を採取し実験条件下で変化を調べた。結果を図4-5に示す。生育(枯死分解の防止)には通気が最も重要であるとの結果が得られた。また光は強

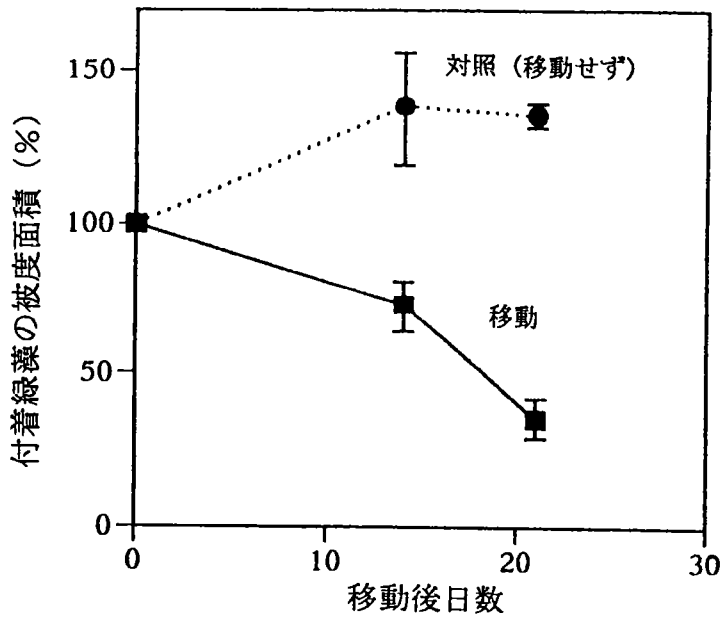


図 4 - 3 早瀬 (水深11cm・流速160cm/秒) から流速の遅い平瀬 (水深13cm・流速15cm/秒) へ移動した糸状緑藻の被度面積の変化

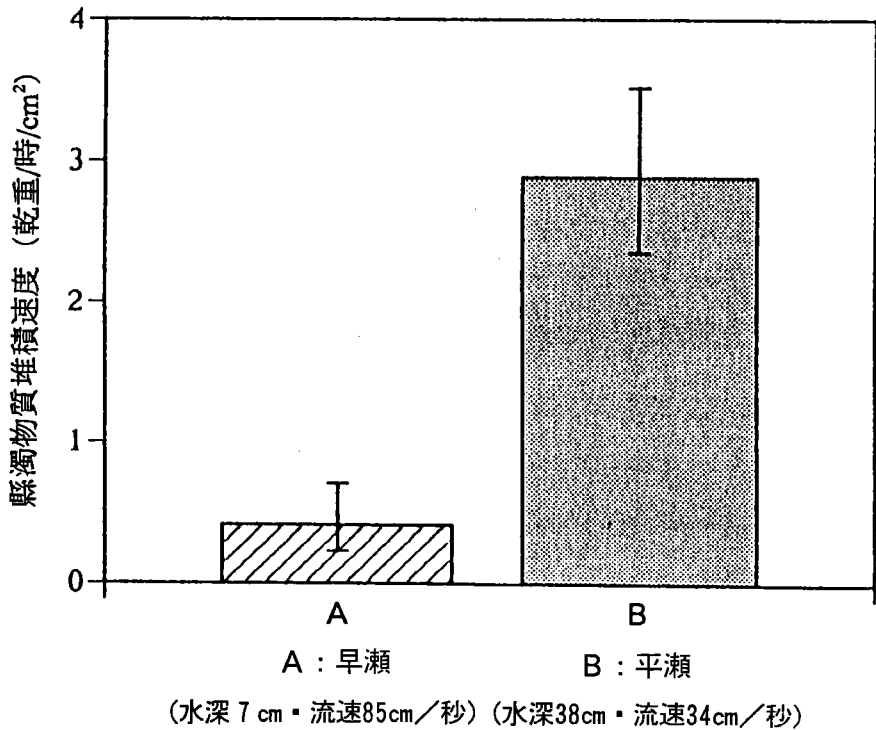


図 4 - 4 早瀬と平瀬における水中懸濁物質の河床への堆積速度の比較

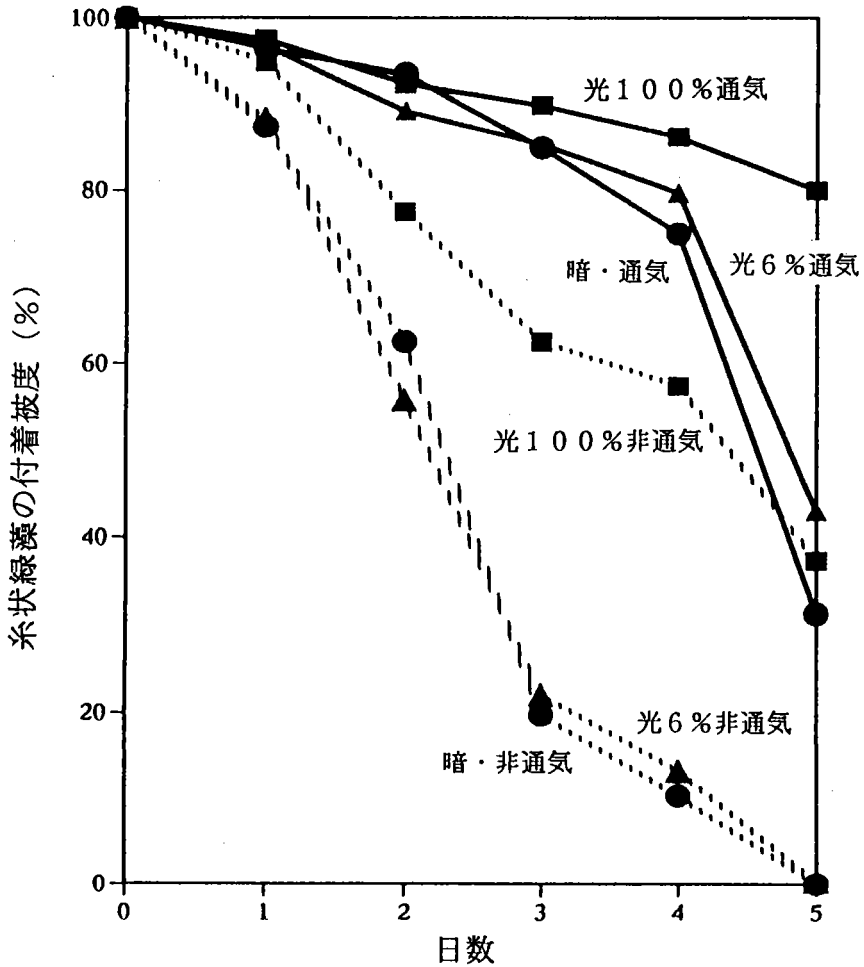


図4-5 糸状緑藻の室内培養実験における光強度と通気の影響

いほど良い結果を与えた。6%の光条件での培養は暗条件での培養と同じ傾向を示したことから、糸状緑藻は弱い光条件では増殖できないと考えられた。通気をしない条件では100%の光条件で培養しても通気をした暗条件での培養に比べて付着被度の減少が大きいことから糸状緑藻は酸素と二酸化炭素の補給が必要である可能性が考えられた。早瀬特有の曝気は、酸素と二酸化炭素のガス交換をしており、糸状緑藻が早瀬に分布している一因である可能性がある。

河床変動により、生育に悪い場所から良い場所に礫が移動する場合もある。この場合、藻類は細菌の付着形成の後に付着増加するといわれており、乾いていた礫では、藻類が付着し始める前に細菌の付着形成の時間が必要となる。人工基質の浸漬実験（スライドグラス）で、12日目までは肉眼で確認できる糸状緑藻が存在しな

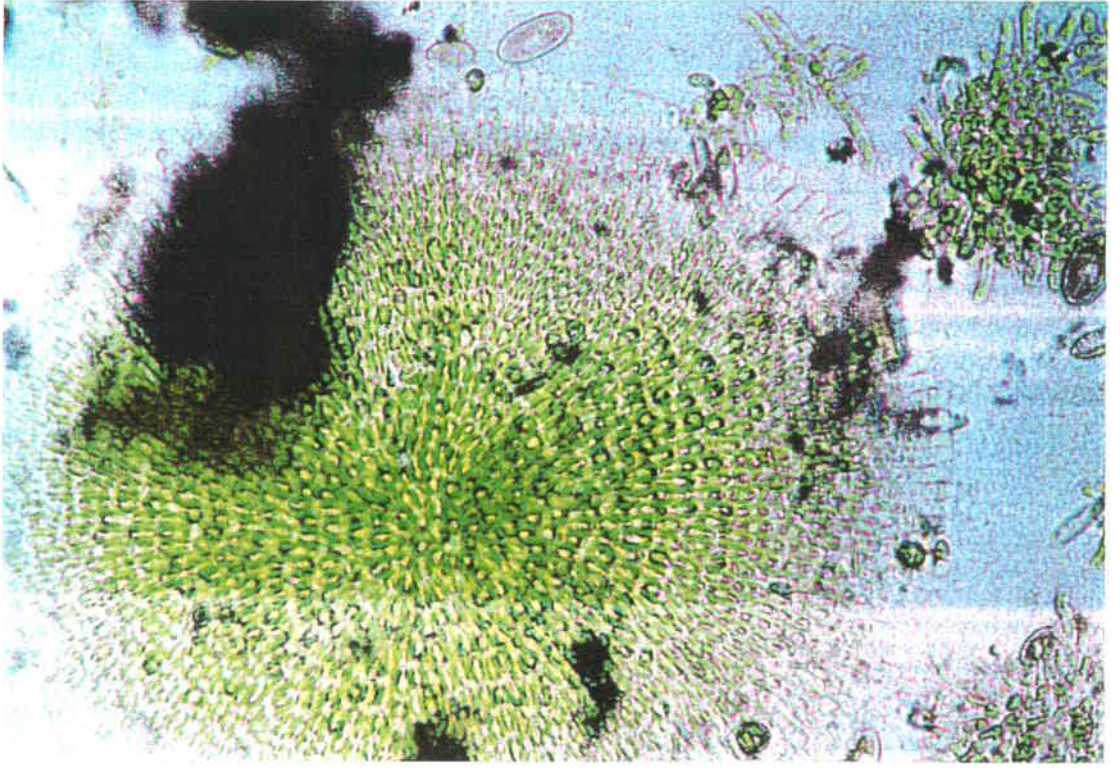
ったのは細菌の付着形成に時間がかかり付着藻類が急に増加できなかったためと考えられた。しかし、顕微鏡での観察によると2日目ですでに *Stigeoclonium* spp. の付着が確認できた。図4-6に川に浸漬したスライドガラス上に発達した糸状藻類の様子を示した。7日目までは *Stigeoclonium* spp. の藻体の数と大きさは共に増加したが、17日には藻体の大きさは増加し藻体数は減少した。また、17日には付着ケイ藻が増加して空間を占有している様子が顕微鏡で観察できたことから、7日目までは *Stigeoclonium* spp. が成長できる空間が存在したが、17日目にはケイ藻が付着して空間を占有し *Stigeoclonium* spp. が成長できる空間が存在しない可能性が考えられた。今後、2日目に確認できた *Stigeoclonium* spp. の成長する過程を、明らかにする必要がある。

人工基質の浸漬実験(コンクリートブロック)では、12日目までは *Stigeoclonium* spp. のみ、その後17日目までは *Stigeoclonium* spp. と *C. glomerata* の両種、その後 *C. glomerata* のみが観察された。*Stigeoclonium* spp. は初期遷移種、*C. glomerata* は中・後期遷移種と言われており、これは遷移タイプの違いによると考えられた。また、*Stigeoclonium* spp. が大発生している場所では *C. glomerata* は生息していない(Witton, 1970)との知見もあり、両種の生息場所における相互関係を、今後、明らかにする必要がある。

付着藻類は移動できないので生育環境が悪化した時に、それに耐えるか死ぬしかない。したがって、付着藻類は、水質調査のモニターに適した生物といえる。本研究で調査した多摩川における糸状緑藻の分布についての情報を基に調査を続行することで、糸状緑藻を多摩川の水質指針として利用できる可能性がある。

また、付着藻類は強い流水により剥離し自ら水質汚濁の一因となる。本研究での糸状緑藻の現存量の季節的変動や河床変動に伴う変動の知見は、洪水時における糸状緑藻の剥離量を予測し、水質の汚濁をシミュレーションする際のデータとして使用できると考える。

また、早瀬の環境を考える上で重要なのは、付着微生物群集が基底に短時間で形成する付着微生物膜である。付着微生物群集は有機物の生産および分解の大部分を担っており、強い水質浄化力を持つと言われる。厚さわずか数ミリの付着微生物膜は細菌の分泌物や基層表面に吸着した溶存有機物に由来するもので、糸状緑藻を含む微生物の住み着き、付着および増殖に対して、この膜内の細菌が密接に影響している。この微生物膜内で、細菌は有機物を分解し、付着藻類は分解された無機物を取り込むと同時に酸素を細菌に与える。本研究で *Stigeoclonium* spp. の付着過程において初期に付着していた藻体の全てが成長できるのではなく限られた少数のみが



(×200)

図4-6 スライドガラス上に発達した糸状緑藻 *Stigeoclonium* spp. の群体

成長できることが示された。今後、付着微生物膜内での糸状緑藻の住み着き、付着および増殖について細菌との共生や競争種との競合の研究を進めることにより、川での水質浄化における糸状緑藻の役割が明らかになると考える。

参考文献

- 1) Aizaki, M. (1980) Changes in Standing Crop and Photosynthetic Rate attendant on the Film Development of Periphyton in a Shallow Eutrophic River. Jap. J. Limnol. 41:225-234
- 2) Dodds, W.K. (1991c) Community interactions between the filamentous alga *Cladophora glomerata* (L.) Kultzing, its epiphytes and epiphyte grazers. Oecologia(Berlin). 85:572-80
- 3) 広瀬弘幸・山岸高旺(1977) 日本淡水藻図鑑
- 4) 新山優子(1986) 北海道産カモジシオグサ *Cladophora glomerata*(L.) Kultzing の形態と季節的变化。Jpn. J. Phycol. 34:216-224
- 5) 李参熙・塚原隆夫(1994) 植物群落の破壊と河床材料の移動. 土木学会52回年次学術講演会
- 6) Van den Hoek, C. (1963) Revision of the European Species of *Cladophora*. E. J. Brill, Leiden, pp.1-32
- 7) Witford, L.A(1960) The current effect and growth of fresh water algae. Trans. Am. Microsc. Soc. 79:302-9
- 8) Whitton, B. A. (1970) Biology of *Cladophora* in freshwaters. Water Res. 4:457-76
- 9) 渡辺泰徳、渡辺真利代、手塚泰彦(1975) 南浅川における河川 植物群落の現存量比較 — 特に炭素、窒素、リンについて。環境科学研究報告集, B29-R12-2
- 10) 坪郷久子、渡辺泰徳(1997) 多摩川における糸状緑藻の発達と変動。第62回日本陸水学会大会
- 11) 渡辺泰徳、坪郷久子、川崎詠子(1996) 川のせせらぎに特徴的な糸状緑藻の発達。第61回日本陸水学会大会
- 12) 渡辺泰徳(1990) 多摩川における底生付着微生物群集の解析とその環境改変作用の評価。とうきゅう環境浄化財団研究助成、No. 130

た まがわ かしょう ぶん ぶ ふちやくそうい せいたい い ぎ かん けんきゅう
「多摩川の河床に分布する付着藻類の生態と意義に関する研究」

(研究助成・学術研究 VOL. 28-No.201)

著 者 わた なべ やす のり
渡 辺 泰 徳
発行日 2000年3月31日
発 行 財団法人 とうきゅう環境浄化財団
〒150-0002
渋谷区渋谷1-16-14 (渋谷地下鉄ビル内)
TEL (03)3400-9142
FAX (03)3400-9141
