

糸状藻・非糸状藻の増殖・剥離・

種間競争に関する室内実験

LABORATORY EXPERIMENTS ON GROWTH, DETACHMENT AND INTERSPECIFIC COMPETITION OF FILAMENTOUS AND NON-FILAMENTOUS PERIPHYTON

戸田祐嗣¹・西村明²・池田駿介³

Yuji TODA, Akira NISHIMURA and Syunsuke IKEDA

¹正会員 博士(工) 名古屋大学講師 大学院工学研究科(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)²正会員 修士(工) 独立行政法人 水資源機構(〒369-1872 埼玉県秩父市大字上影森 130-1)³フェロー会員 工博 東京工業大学教授 大学院理工学研究科(〒152-8552 目黒区大岡山 2-12-1)

Laboratory experiments were performed to know the characteristics of growth, detachment and interspecific competition of filamentous and non-filamentous periphyton, in which the primary production rates, the respiration rates and the detachment rates of each kind of periphyton were measured by using various methods. The results of the experiments show that there is no significant differences of the primary production rates and the respiration rates between filamentous and non-filamentous periphyton, and the maximum primary production and respiration rates are of 3.5 mg.O₂/mg.chl.a/h and 0.5 mg.O₂/mg.chl.a/h, respectively. The detachment rate of periphyton is found to increase with friction velocity, and the detachment rate of filamentous periphyton takes smaller value than that of non-filamentous periphyton. It was also found that the dominant degree of filamentous periphyton increase with time. These results indicate that the immigration process and the strategy of the community expansion of each kind of periphyton are expected to be important factors for controlling the interspecific competition of stream periphyton.

Key Words: *Periphyton, primary production, detachment, interspecific competition, filament type, non-filament type*

1. はじめに

河床表面に生息する付着藻類は、その光合成活動によって有機物を生産し、水域内生態系のエネルギー源の一つとして機能している。これら付着藻類には、大きく分類して、非糸状藻と呼ばれる礫表面に平面的に繁茂して生育するものと、礫表面や生物膜表面に基部を付着させ、糸状の体のつくりを有している糸状藻があり、魚類や昆虫類は、糸状藻、非糸状藻のうち自身の食性に適したものを選好して捕食することが知られている。従って、魚類や水生昆虫の餌環境を明らかにするためには、糸状藻、非糸状藻のそれぞれの増殖・剥離の特性や両者の種間競争過程を明らかにする必要がある。

付着藻類の種の遷移過程については、古くから多くの

研究が行われており、例えば、Hoagland et al.¹⁾に指摘されるように、増殖の進行とともに非糸状藻を中心とした群落から糸状藻を中心とした群落へと遷移していくことなどの定性的特長が報告されている。また、近年では藻類の増殖に関する数値予測が精力的に行われ、単位面積あたりのバイオマスの増減を生産、代謝、剥離の収支から予測するモデルがいくつか提案されている(Saravia et al.²⁾、浅枝ら³⁾、Duong ら⁴⁾、戸田ら⁵⁾。しかし、現在までのところ、種間競争を考慮に入れた藻類増殖に関する定量的データは極めて少ない状況にあり、数値モデルによる予測も、数多くのパラメータの値を仮定して用いざるを得ない状況にある。

以上の背景より、本研究では、種間競争下での藻類生態を把握するための第一歩として、糸状藻・非糸状藻の増殖、剥離特性の計測および平坦水路床上での増殖・種

表-1 培養時水理条件

水理量	水路床勾配	エネルギー勾配	流速	水深	径深	摩擦速度	フルード数	レイノルズ数
記号	I_0	I	U	H	R	$u_*=(gRI)^{0.5}$	$Fr=U/(gH)^{0.5}$	$Re=UH/\nu$
単位			[m/s]	[m]	[m]	[m/s]		
非糸状藻	1/500	0.0021	0.24	0.035	0.031	0.025	0.41	8.3E+03
糸状藻	1/50	0.020	0.86	0.022	0.020	0.063	1.9	1.9E+04

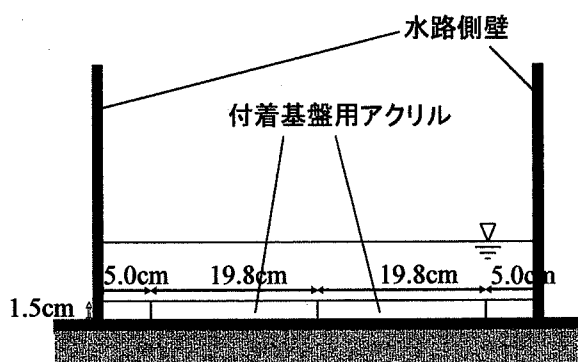


図-1 実験水路横断面図

間競争実験を実施し、定量的なデータを得るとともに、現象を実証的に把握することを目的とする。

2. 実験方法

実験は大きく分類して(1)糸状藻・非糸状藻毎の光合成速度・代謝速度の計測、(2)糸状藻・非糸状藻毎の剥離特性の計測、(3)平坦水路床上での藻類増殖実験の3つより構成されており、それぞれの実験は以下のとおりに行った。

(1) 光合成速度・代謝速度の計測実験

糸状藻と非糸状藻のそれぞれのサンプルを東京都多摩川中の河床礫より採取した。非糸状藻のサンプルとしては珪藻類が優占種であり、糸状藻は緑藻類が優占種であった。これらのサンプルに対して明暗瓶法によって光合成速度および呼吸速度を求めた。光源には500Wの白熱レフランプ(RF110V450WH, 松下電器(株)製)を用い、照度の測定にはデジタル照度計(LX-1336, (株)カスタム製)を用いた。実験中の試水の水温は $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ に保持し、溶存酸素濃度はウィンクラー・アジ化ナトリウム法⁹⁾によって計測した。溶存酸素の測定と並行して、試水中のクロロフィルa濃度を分光光度計(U-2010, (株)日立製作所製)により測定した。以上の測定の結果から、単位クロロフィルa量当たりの光合成(呼吸)速度を算出し、光合成-光曲線を作成した。

(2) 剥離特性の計測

剥離特性の計測は、糸状藻、非糸状藻のそれぞれが優占する藻類プレートを作成し、その後、各プレートを開

水路床に設置して水理量を変化させ、異なる水理条件下での各藻類の剥離量を計測する、という手順で実施した。具体的な方法を以下に示す。

試料を培養するために用いた水路(以降「培養水路」と称す)の横断面を図-1に示す。水路は長さ710cm、幅50cmの循環式直線水路で、水路床には藻類の付着基盤として流下方向20.0cm×横断方向19.8cm×厚さ1.5cmの透明アクリル板を中央に2列配した。さらに壁面の影響をなるべく防ぐために、両壁際には5.0cmずつ同じ厚さのプレートを敷いた。プレートの表面はサンドペーパー(40番)で粗さを付けた。藻類の生育区間は、上流端から流入した流れが十分発達して等流状態に達している区間(水路上端より210cm～610cm)に限定し、その区間に藻類の光合成に必要な光を以下の方法で与えた。水路の藻類育成区間の鉛直上方約100cmの位置に500Wの白熱レフランプ(RF110V450WH, 松下電器(株)製)を6個設置し、その他の区間は暗幕で覆って光を遮断した。昼夜の別はタイマーによって制御しており、1日当たりのランプ点灯時間は5:00～21:00の16時間とした。ランプ点灯により与えられる一日あたりの光エネルギーは約23 MJ/m²/dayであり、これは夏季の晴天時における1日の全天日射量に匹敵する。このことから水路床には付着藻類の光合成に十分な日射量が供給されていたと考えられる。また、実験中、投げ込み式ヒーター(BWA1115, (株)八光電機製作所製)、投げ込み式クーラー(200TN, アズワン(株)製)およびサーモスタット(DP-3, アズワン(株)製)を用いて水温を $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ に保った。これらの基本的な設定を行った後に、各種藻類が優占して生育する藻類プレートを作成するために、それぞれ以下の手法で培養を行った。

a) 非糸状藻優占群落の培養

非糸状藻について、現地の多摩川で礫に付着している珪藻類を河川水約 $3.0\times 10^3\text{m}^3$ とともに採取して持ち帰り、培養水路に投入した。既往の実験結果⁷⁾から、緩やかな流速下の方が単細胞・群体型付着藻類が優占して付着しやすいことが予想されるため、水路床勾配を1/500にし、表-1に示す水理条件で培養を行った。様々なバイオマスのプレートを作成するため、時々いくつかのプレートに付着している藻類を歯ブラシで剥がしとり、剥離実験を行う時点で様々なバイオマスが付着したプレートが準備できるようにした。プレート上に珪藻類が優占して付着するのを促進するため、既往の培養実験^{9, 8)}を参考にして、窒素源として硝酸カルシウム四水和物

表-2 剥離実験の水力条件

	河床勾配	エネルギー勾配	断面平均流速	水深	径深	摩擦速度	フルード数	レイノルズ数
記号 単位	I_0	I	U (m/s)	H (m)	R (m)	$u_*=(gRI)^{0.5}$ (m/s)	$Fr=U/(gH)^{0.5}$	$Re=UH/\nu$
非糸状藻	1/500	0.00172	0.377	0.0354	0.0261	0.0210	0.64	1.33E+04
	2/500	0.00409	0.406	0.0327	0.0246	0.0314	0.72	1.33E+04
	4/500	0.00772	0.578	0.0235	0.0191	0.0380	1.20	1.36E+04
	6/500	0.0118	0.639	0.0218	0.0179	0.0455	1.38	1.39E+04
	8/500	0.0155	0.711	0.0180	0.0152	0.0481	1.69	1.28E+04
	10/500	0.0200	0.733	0.0166	0.0142	0.0528	1.82	1.22E+04
糸状藻	2/500	0.00381	0.323	0.0349	0.0259	0.0311	0.55	1.13E+04
	4/500	0.00810	0.625	0.0231	0.0188	0.0386	1.31	1.45E+04
	8/500	0.0159	0.822	0.0182	0.0154	0.0489	1.95	1.49E+04
	10/500	0.0199	0.938	0.0179	0.0152	0.0544	2.24	1.68E+04

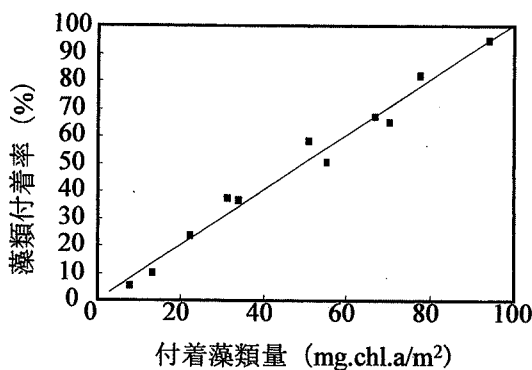


図-2 附着藻類量と画像による藻類付着率との関係

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ を、リン源としてリン酸水素二カリウム K_2HPO_4 を、珪素源として珪酸ナトリウム Na_2SiO_3 を、さらに微量元素として必要とされるマグネシウム源として硫酸マグネシウム七水和物 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ を、鉄源として硫酸鉄七水和物 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ を添加した。それぞれの添加量については、過去の培養実験^{9, 8)}の培地の濃度を参考にして決定した。

b) 糸状藻優占群落の培養

非糸状藻と同様に現地河床礫に付着する緑藻の糸状藻を河川水約 $3.0 \times 10^3 \text{ m}^3$ とともに持ち帰り、培養水路に投入した。また既往の実験結果⁷⁾から、比較的大きな流速下で最終的に糸状型付着藻類が優占して付着することが予想されるため、水路床勾配を 1/50 にし表-1 の実験条件で培養した。糸状藻については非糸状藻の生物膜上に群落が形成されることより、培養に時間を要し、異なるバイオマスのプレートを作成することが困難であったため、培養中に人為的にフラッシュするなどの特別な処理は行わなかった。培養の水質条件について、既往の培養実験^{8, 10)}を参考にして栄養塩類のうち、リン、マグネシウム、鉄については非糸状藻と同じものを、窒素源としては $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ の代わりに硝酸カリウム KNO_3 を、また珪素源となる Na_2SiO_3 は用いずに新たに塩化ナトリウム NaCl を用いた。また添加量についても、非糸状藻

と同様に、過去の培養実験^{9, 8)}の培地濃度を参考に決定している。

上記で培養された藻類プレートを幅 20cm の開水路に設置し、一定の水力条件に設定した。その後 30 分間は藻類を剥離実験水路の水力条件になじませるための時間とし、通水開始より 30 分後からの 2 日間を、藻類の剥離量の測定期間とした。藻類の剥離量の測定方法としては、方法①：測定期間前後のプレート上クロロフィル a 量の直接計測、方法②：期間前後のプレート画像の画像解析による計測、方法③：水路下流端での剥離藻類捕捉ネットによる計測、などが考えられ、それぞれの計測法には、方法①の場合、あるプレートの上の藻類量の計測法としては最も正確であるが、剥離実験前後で異なったプレートを用いるため、初期に培養したプレート上の付着藻類量の違いにより大きな誤差が生じる、方法②の場合、剥離実験前後で同一のプレートを用いるためプレートの初期条件による誤差は少ないが、藻類量が多くなった場合に画像による藻類量差異の識別が困難となる、方法③の場合、ネットを通過するような微細な剥離藻類片が捕捉されない、などの問題点がある。本実験においては、非糸状藻では剥離藻類片が小さいこと、糸状藻類ではプレート上の藻類量が大きいために予測されるため、非糸状藻については方法①と方法②を組み合わせで用い、糸状藻については方法③によって計測することとした。図-2 に非糸状藻に対して、プレート上のクロロフィル a の直接計測と方法②の画像解析より得られる藻類付着率の関係を示す。100mg.chl.a/m² 以下の範囲においては、画像解析による藻類占有率とクロロフィル a 量の間に良好な相関関係が見られ、その範囲において方法②による剥離量計測が有効であることが確認される。また、既往の研究⁷⁾によると非糸状藻が優占する実河川の群落においては、河床礫上の藻類量について多い場合でも 100mg.chl.a/m² 程度であることから、現地河川で繁茂する程度の非糸状藻量については、画像解析で概ねの範囲をカバーすることが可能であると言える。

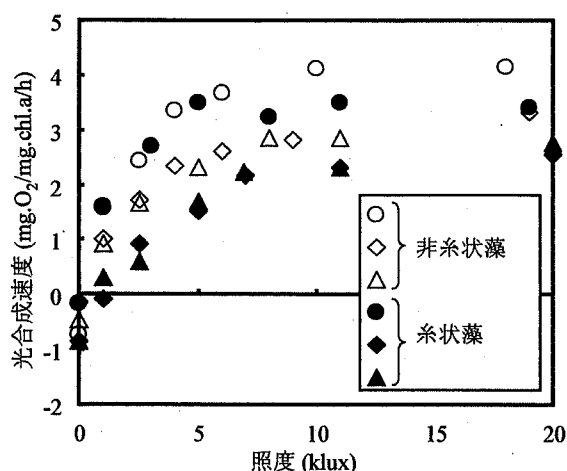


図-3 糸状藻、非糸状藻の光合成—光曲線

水深、水面勾配をポイントゲージで、流下方向流速をプロペラ式流速計(SAT-100-05, 東京計測(株)製)によって計測した。表-2 に剥離実験の水理条件を示す。光環境について、剥離実験中に藻類の増殖や死滅が起こることを防ぐために、(1)の実験結果を参考にして、総光合成と呼吸が相殺される明るさ、つまり純光合成が0となる明るさに設定した。

(3) 平坦水路床上的藻類の増殖実験

培養水路を用いて平坦水路床上的藻類の増殖実験を実施した。水路中に光合成速度計測実験、剥離実験の時に採取した糸状藻、非糸状藻を投入した。実験水路の水温は、投げ込み式ヒーター(BWA1115, (株)八光電機製作所製)とサーモスタット(DP-3, アズワン(株)製)を用いて、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ に保った。水質条件については分光光度計(TAACKS 2000, BLAN+LUEBBE(株)製)を用いて各栄養塩濃度($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$)の測定を行って $\text{TIN}=2.0\text{mg/l}$, $\text{TIP}=0.004\text{mg/l}$ 程度となるよう調整した。窒素・リン以外の微量栄養分として、珪素源に珪酸ナトリウム Na_2SiO_3 を、鉄源に硫酸鉄七水和物 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ を、マグネシウム源に硫酸マグネシウム七水和物 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ をそれぞれ十分な量だけ加えた。実験時の水理条件については、水路床勾配 1/100, 断面平均流速 65 (cm/s), 水深 2.1 (cm), 摩擦速度 4.2 (cm/s), $\text{Fr}=1.5$, $\text{Re}=1.4 \times 10^4$ としている。

実験初期の増殖誘導期(あまり増殖が起こらない時期)にある時期には週1回、対数増殖期(指数増殖が起こる時期)に入ってから週2回の割合で、分光光度計による各栄養塩濃度($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$)の計測と付着藻類量の測定を行った。付着藻類量の測定方法としては、プレートを一枚ずつ水路から取り出し、歯ブラシで付着藻類を剥がした後、そのクロロフィル a 量を測定した。栄養塩濃度に関しては、付着藻類の増殖に伴って濃度の減少、特に対数増殖期において急激な減少が認められたので、T-N については 2.0mg/l を、T-P については 0.005mg/l を下回った場合を目安にして、窒素源として

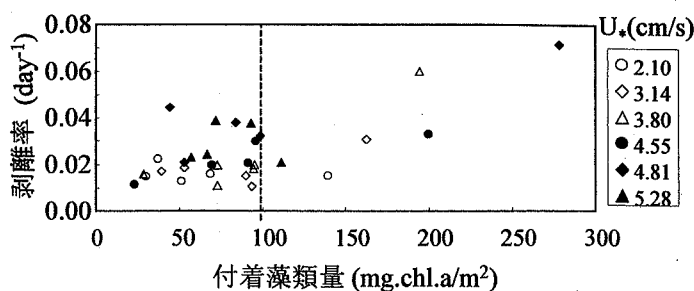


図-4 非糸状藻の剥離率と付着藻類量の関係

は硝酸カリウム KNO_3 を、リン源としてはリン酸水素二カリウム K_2HPO_4 をそれぞれ加えた。また毎週1回、生物顕微鏡(E300HQ, アズワン(株)製)を用いて付着藻類の種を属名(種名の一つ上の分類)まで同定し、その上で単細胞・群体型付着藻類および糸状型付着藻類の細胞数を計数して、種の遷移過程を把握した。

3. 実験結果

(1) 各藻類の光合成速度・代謝速度

図-3 に各藻類の正味の光合成—光曲線を示す。図の横軸は照度を示し、縦軸は、単位時間・単位クロロフィル a 量当たりの酸素放出量を示している。照度 0 klux における正味の光合成速度は負の値を示し、この値は呼吸速度を表す。非糸状藻と糸状藻それぞれ3つの試料について同じ実験を行ったが、単位クロロフィル a 量当たりの光合成速度は非糸状藻の方が若干大きいものの、最大総光合成速度は $3.5\text{mg O}_2/\text{mg chl.a/h}$ 程度、呼吸速度は $0.5\text{mg O}_2/\text{mg chl.a/h}$ 程度であることが分かる。またこの温度条件(20°C)の場合、最大光合成速度を示すのは約 7 klux 以上であり、この明るさまでは照度が増加するにつれて光合成速度も増加するが、それ以上光を強くしても光合成速度は増加しないことも分かる。非糸状藻・糸状藻の光合成特性を比較すると、両者に有意な違いは見られない。このことは、藻類の光合成や呼吸の活性として、糸状藻・非糸状藻間に大きな違いが無いことを示しており、種間競争が生産や代謝の違いでは十分に説明できないことものと判断される。なお、藻類の光合成による酸素生産量/有機物生産量の重量比 ($=1.98$)⁹⁾ および藻類中クロロフィル a 量/乾燥重量の重量比の計測値 ($=0.0066 \sim 0.0094$) を用いて、最大総光合成速度および呼吸速度を、最大生産速度と代謝速度に変換するとそれぞれ、 $0.19 \sim 0.27\text{ (day}^{-1}\text{)}$, $0.040 \sim 0.057\text{ (day}^{-1}\text{)}$ 程度の値となる。

(2) 各藻類の剥離特性

a) 非糸状藻の剥離特性

非糸状藻の剥離実験について、形状ごとに細胞数を計数したところ、培養プレート上の非糸状：糸状藻の細胞数比は概ね 50:1 であり、非糸状藻の圧倒的多数が珪藻類

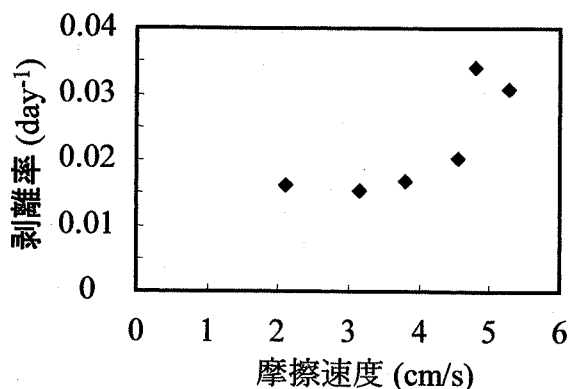


図-5 非糸状藻の剥離率と摩擦速度の関係

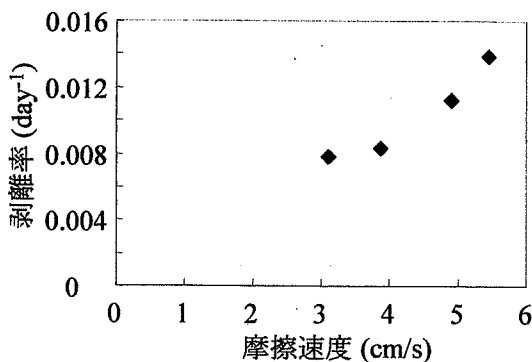


図-6 糸状藻の剥離率と摩擦速度の関係

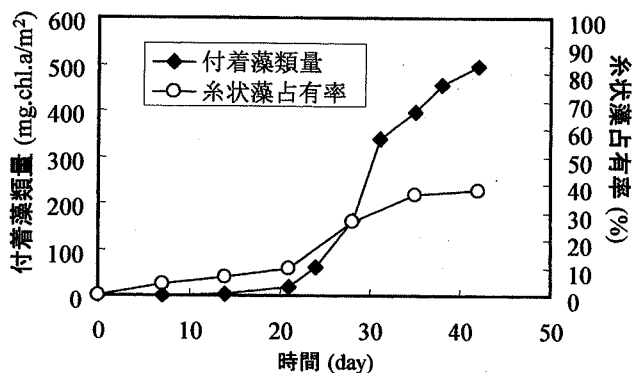


図-7 付着藻類量および糸状藻占有率の時間変化

であった。このことより、培養によって目的とする非糸状藻が優占するプレートが得られたものと判断される。

図-4 に剥離実験における剥離率と付着藻類量の関係を示す。図中の凡例は摩擦速度 (cm/s) による別を表している。剥離率の算定に当たっては、横軸のクロロフィル a 量が 100mg.chl.a/m^2 を境に、それ以下では 2. (2) 節で述べた画像解析による方法 (方法②) で、それ以上では直接剥がし取りによる方法 (方法①) を用いて計測した結果である。藻類量と剥離率の関係について、データのばらつきは大きいものの、藻類量が 100mg.chl.a/m^2 以下のプレートについては、藻類量と剥離率の間に明確な関係が見られないものの、それ以上の藻類量においては、藻類量の増加とともに剥離率が大きくなる傾向が見られる。その理由として、付着藻類量が 100mg.chl.a/m^2 以下の範囲においては、図-2 で示されたように付着藻類量は画像による藻類付着率と良い相関を示しており、ほとんどの藻類細胞が直接基板に付着していることが推察され、剥離率は藻類の付着強度と水理特性との関係で決定されるものと思われるが、藻類量が 100mg.chl.a/m^2 を超えると画像による藻類付着率が 100% を超えることとなり、プレートに直接付着した藻類の上にまた多くの藻類が付着するような状態へと推移する。そのため、藻類膜下層に位置する藻類の生理活性の低下によって、剥離率の増加が生じたものと判断される。

上記の考察より藻類量 100mg.chl.a/m^2 の範囲において

は、藻類の基盤への付着力と水理特性の関係によって藻類剥離率が変化することが予測されるため、藻類量 100mg.chl.a/m^2 以下の実験結果を用いて、摩擦速度と藻類剥離率の関係を検討した (図-5)。藻類剥離率は摩擦速度で 4~5cm/s 程度付近から増加しており、それ以下の摩擦速度ではあまり大きな変化が見られない。このことから、摩擦速度 4cm/s 程度以下では藻類の付着力が摩擦速度に対して十分に大きく、それ以上の摩擦速度では底面せん断力の影響で剥離が増加したものと推察される。

b) 糸状藻の剥離特性

糸状藻の剥離実験について、顕微鏡による観察の結果、プレート上の非糸状:糸状藻の細胞数比は 3:7 であった。糸状藻の優占するプレートを作成するためには、糸状藻の進入する基盤となる非糸状藻の繁茂が必要となるため、ある程度非糸状藻の細胞を含んだプレートとなってしまったものの、全体としては糸状型緑藻が優占した付着プレートが得られたと思われる。

図-6 に糸状藻の剥離率と摩擦速度の関係を示す。図より、糸状藻の剥離率についても、摩擦速度が 4~5cm/s 程度付近から増加していることが分かる。次に剥離率の値に着目すると、非糸状藻の剥離率が $0.015\sim0.035\text{ day}^{-1}$ の範囲であるのに対して、糸状藻の剥離率は $0.008\sim0.014\text{ day}^{-1}$ と小さな値を示しており、糸状藻は非糸状藻より剥離しにくいことが分かる。また、剥離速度は最大生産速度、代謝速度に比べて 1 オーダーほど小さな値であり、付着藻類の増殖の初期特性や初期の種間競争には大きな寄与を果たさないことが予測される。

(3) 藻類の増殖と種間競争

図-7 に、付着藻類量と糸状藻占有率の時間変化を示す。付着藻類量は最初の 14 日間程度はほとんど増加しないものの (誘導期)、その後 20 日間程度に指数的な増殖 (対数増殖期) が見られる。その後、藻類量の増加によって日射や栄養塩が制限され増殖が低下している。また、時間の経過とともに糸状藻の占有率が増加していることが分かる (但し、本実験では、実験水温や実験の水質条件に起因して、川島・鈴木¹⁰⁾の実験や戸田ら⁷⁾の実験で見られたような 80~90% を超える糸状藻の優占状態までには至

表-3 増殖実験時の種の遷移

植物門	綱	目	属	主な形状	7日後	14日後	21日後	28日後	35日後	42日後
不等毛 (黄色)	珪藻	羽状	<i>Achnanthes</i>	単細胞	○	○	○	◎	◎	◎
			<i>Cocconeis</i>	単細胞	△	△	△	△	△	
			<i>Fragilaria</i>	単細胞	△	△	○	○	○	○
			<i>Navicula</i>	単細胞	○	○	◎	◎	◎	◎
			<i>Nitzschia</i>	単細胞	○	○	△	△	△	△
			<i>Synedra</i>	単細胞	◎	◎	◎	◎	○	△
緑色	緑藻	クロロコクム	<i>Scenedesmus</i>	群体				△	△	△
		ホシミドロ	<i>Cosmarium</i>	単細胞	○	◎	◎	○	○	○
	アオサ藻	ヒビミドロ	<i>Ulothrix</i>	糸状体	△	△	○	◎	◎	◎

(◎：高頻度で出現，○：中頻度で出現，△：低頻度で出現，空欄：検出できず)

らなかった)。占有率の増加の割合は一定ではなく、実験開始から20日が過ぎた辺りの藻類量の急激な増殖が始まるのに合わせ、大きく増加していることが分かる。種間競争実験における種の遷移過程を出現頻度により検討した結果を表-3に示す(表中の記号はそれぞれ、◎：高頻度で見られたもの、○：中頻度で見られたもの、△：低頻度で見られたもの、空欄は検鏡した範囲では見られなかったものを示す)。実験開始から28日後付近から糸状緑藻類(アオサ藻綱)の *Ulothrix* 属が高頻度で見られるようになっていく。本実験の対象とした糸状藻、非糸状藻は、3. (1)節で計測したとおり、生産速度や代謝速度に大きな違いが見られないものの、その様な生理速度に大きな違いが観測されなかった藻類種間での競争においても、既往の研究(例えば Hoagland et al.¹⁾)で報告されている非糸状藻から糸状藻への種の遷移が生じていることが分かる。このことから、非糸状藻から糸状藻繁茂へといった種の遷移過程は、生産速度、代謝速度の違いでは十分に説明できず、種毎の基盤への移入過程や移入後の群落の拡大戦略に依存しているものと判断される。現在のところ、各藻類種の移入、移入後の群落拡大戦略に関する実証的知見は十分に得られておらず、今後の課題であるが、これらの特性を把握することが、河床付着藻類の種間競争を明らかにしていくために重要な課題であることが指摘される。

4. 結論

本研究では、付着藻類の増殖・剥離・種間競争過程を明らかにするために室内実験を実施した。実験より得られた主たる知見は以下のとおりである。

- 1) 本実験の対象とした糸状藻・非糸状藻の最大光合成速度、最大呼吸速度はそれぞれ $3.5 \text{ mg O}_2/\text{mg chl.a/h}$ 程度、 $0.5 \text{ mg O}_2/\text{mg chl.a/h}$ 程度であり、日射と光合成速度の関係について、両種間に大きな違いは見られなかった。
- 2) 糸状藻、非糸状藻ともに摩擦速度が $4\sim 5 \text{ cm/s}$ を超えると剥離率が増加する。また、剥離率の絶対値は糸状藻の方が非糸状藻より小さい。
- 3) 光合成速度や代謝速度に大きな違いが見られない糸状

藻・非糸状藻間の種間競争過程においても、増殖の進行とともに、糸状藻の占有率が増加する。このことより、非糸状藻から糸状藻優先の群落へと至る種の遷移過程においては、種ごとの基盤への移入過程や移入後の群落の拡大戦略を明らかにする必要があることが指摘される。

謝辞：本研究は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(A)(2) (課題番号：14205070, 代表：池田駿介) および若手研究(B) (課題番号：15760376, 代表：戸田祐嗣) の補助を受けたものである。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Hoagland, K. D., S. E. Roemer and J. R. Rosowski: Colonization and community structure of two periphyton assemblages, with emphasis on the Diatoms (Bacillariophyceae), *American Journal of Botany*, 69, pp.188-213, 1982.
- 2) Saravia, L. A., F. R. Momo and L. D. B. Lissin: Modelling periphyton dynamics in running water, *Ecological Modelling*, 114, pp.35-47, 1998.
- 3) 浅枝隆, ズン・ソンホン, 藤野毅: 河床のペリファイトンの遷移過程の解析, 河川技術に関する論文集, 第6巻, pp.119-124, 2000.
- 4) Duong, H. S., 浅枝隆, 田中規夫, 谷本勝利: 種間の競争を考慮した付着藻類群集の変動解析, 土木学会論文集, No.677, pp.151-161, 2001.
- 5) 戸田祐嗣, 赤松良久, 池田駿介: 単細胞・群体型付着藻類と糸状型付着藻類の増殖競争モデルの開発, 河川技術論文集, 第9巻, pp.481-186, 2003.
- 6) 西澤一俊, 千原光雄編: 藻類研究法, 共立出版, 1979.
- 7) 戸田祐嗣, 赤松良久, 池田駿介: 水理特性が付着藻類の一次生産特性に与える影響に関する研究, 土木学会論文集, No.705, pp.161-174, 2002.
- 8) 田宮博, 渡辺篤編: 藻類実験法, 南江堂, 1965.
- 9) Gloyna, E. F.: Basis for waste stabilization pond designs, *Advances in water quality improvement*, University of Texas, pp.397-408, 1968.
- 10) 川島博之, 鈴木基之: 河床付着性藻類の増殖と剥離, 化学工学論文集, 第9巻, 第3号, pp. 324-329, 1983.

(2004. 4. 7受付)