

# 流量変化が砂河川付着藻類の 一次生産特性に与える影響

EFFECTS OF DISCHARGE VARIATION ON PRIMARY  
PRODUCTIVITY OF PERIPHYTON IN A SAND RIVER

戸田祐嗣<sup>1</sup>・多田隈由紀<sup>2</sup>・辻本哲郎<sup>3</sup>

Yuji TODA, Yuki TADAKUMA and Tetsuro TSUJIMOTO

<sup>1</sup>正会員 博(工) 名古屋大学准教授 社会基盤工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

<sup>2</sup>正会員 修(工) (株)建設技術研究所 九州支社 (〒810-0041 福岡市中央区大名2-4-12)

<sup>3</sup>フェロー会員 工博 名古屋大学教授 社会基盤工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

Periphyton is known to be one of major primary producers in river ecosystem. While the growth of periphyton is usually seen on the relatively stable substrata in flowing water such as stone surface of gravel bed streams, large growth of periphyton is sometimes observed in sand river where the flow discharge and water depth are small enough for providing stable habitats for periphyton. In the present study, a series of numerical simulation was performed to identify the effects of river discharge on biomass and primary productivity of periphyton in a sand river. The results of the numerical simulation show that the time averaged periphyton biomass increases with the flood interval, and the net primary production of periphyton takes a peak values at the flood interval ranging about 8 to 16 days.

**Key Words :** *Periphyton, discharge fluctuation, sand river, biomass and primary production, logistic growth, flood interval*

## 1. はじめに

付着藻類はその光合成活動によって有機物を生産し、河川生態系のエネルギー源の一つとして重要な役割を果たしている。また、光合成に伴う栄養塩吸収によって河川の水質形成や浄化能へ影響を与えると同時に、出水時には河床から剥離することにより河川から繋がる湖沼、海域等への有機物負荷特性に影響を与える。従って、河川における付着藻類の一次生産特性を把握することは、河川生態系の環境基盤の把握と、河川を軸とした栄養塩・有機物動態の把握という両面において重要である。

河川付着藻類の生理・生態については、陸水生態学や藻類学の分野で数多くの研究が行われており、例えば、藻類の河床への定着・繁茂過程における種の遷移<sup>1)</sup>、各藻類種の生理活性<sup>2)</sup>、藻類群落の種の多様性と水質等の相関関係<sup>3)</sup>などに関して多くの知見が得られている。

付着藻類量や藻類一次生産力については、実河川や実験水路での計測が行われており、藻類付着基盤近傍の流れ場、水質、日射量と一次生産量の関係が報告されている<sup>4),5),6)</sup>。また、近年では数値解析による藻類増殖過程の

検討が進んでおり、単一藻類種を対象にしたもの<sup>7),8)</sup>から、種間競争を考慮に入れたもの<sup>9),10)</sup>まで様々な環境条件下での付着藻類動態が解明されつつある。

しかしながら、これら既往の研究の多くは、礫床河川、固定床の水路、あるいは抽水植物表面など流水環境下でも比較的安定的に長時間その場に存在し続ける付着基盤上での藻類繁茂に焦点が当てられている。それに対して砂河川では、河床材料の砂が比較的小さな出水でも移動を開始するため付着藻類の生息基盤としては不安定であり、あまり研究が行われていないのが現状である。付着基盤が不安定であることは、藻類群落構造の時間的发展には不利な条件と考えられるが、藻類群落が頻繁に更新(増殖と破壊)を繰り返すこととなり、下流域への有機物負荷の観点からは、安定基盤面と比べより動的变化が激しく水理量との因果関係が強く表れる条件と考えられる。従って、河川を通じた有機物動態を定量的に明らかにしていくためには、砂河川における付着藻類の繁茂動態を出水等による水理量の変化と関連付けて合理的に解明していくことが望まれる。

著者ら<sup>11),12)</sup>はこのような砂河川における付着藻類の繁茂動態について、現地観測および数値計算を用いた検討

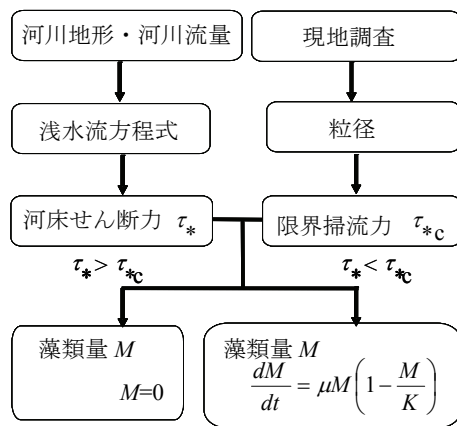


図-1 数値解析のフローチャート<sup>12)</sup>

を行ってきた。数値解析による検討<sup>12)</sup>では、計算による実河川での藻類分布の再現性が確認されているが、藻類量の再現性に関する検証や、流量条件を様々に変化させた場合の藻類量、一次生産量の応答の把握などは十分に行えていなかった。今後、河川流量の弾力的な運用などを通じて、河川水域の一次生産を把握・管理していくためには、流量変化に応じた付着藻類動態を把握する必要がある。

以上の背景から、本研究では砂河川における藻類繁茂に関する数値計算モデルの検証を行い、そのモデルを用いて流量変化による付着藻類量および藻類一次生産量の変化特性を明らかにすることを目的とする。

## 2. 数値計算モデル

### (1) 藻類増殖解析モデルの概要

数値計算に用いた戸田ら<sup>12)</sup>のモデルの概要を以下に示す(図-1)。解析モデルは、浅水流方程式による流れ場の平面2次元解析と付着藻類の増殖解析より構成されている。浅水流解析には長田<sup>13)</sup>による数値計算プログラムを用いた。浅水流解析結果より計算対象区間の各地点における河床せん断力を算出し、河床材料の限界掃流力と比較する。河床せん断力が限界掃流力より大きい場合には、河床材料が移動するものとし、その場合、付着藻類量は0とした。逆に、河床せん断力が限界掃流力より小さい場合には、ロジスティック方程式を用いた増殖解析を行う(付録参照)。なお、砂河川において安定した流量が長期間継続する場合には、藻類の種間競争が増殖過程に影響を与える可能性が示唆されるが、現時点では砂河川での藻類種構成の変遷に関する定量的な測定例が著者の知る限りでは無く、解析に用いたパラメータも複数種が混在した藻類群落に対する計測に基づいていることから、本解析においては、種間競争は考慮せず複数種で構成される藻類群落のマクロな挙動を解析することとする。

表-1 数値解析に用いた藻類増殖に係わるパラメータ

| 項目           | 値                                        | 文献                 |
|--------------|------------------------------------------|--------------------|
| $\mu_{\max}$ | 1.1 (day <sup>-1</sup> )                 | 戸田ら <sup>12)</sup> |
| $K_{\max}$   | 38.4 (mg.chl.a/m <sup>2</sup> )          | 戸田ら <sup>12)</sup> |
| $T_{opt}$    | 18 (°C)                                  | 野崎ら <sup>15)</sup> |
| $\alpha_T$   | -2.3                                     | 池田ら <sup>16)</sup> |
| $T_c$        | 3 (°C)                                   | 池田ら <sup>16)</sup> |
| $\delta$     | 0.05                                     | 戸田ら <sup>12)</sup> |
| $\lambda$    | 0.18 (m <sup>-1</sup> )                  | 戸田ら <sup>12)</sup> |
| $I_c$        | 5 (MJm <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ) | 田代 <sup>17)</sup>  |
| $N_c$        | 0.01 (mg.N/l)                            | 野崎ら <sup>15)</sup> |

### (2) 計算条件

計算対象の河川地形については、2004年に矢作川河口より17.6km～16.8kmの砂州にてDGPS (SOKIA社製, R80D) およびレーザーレベル (SOKIA社製, LP30A) を用いて計測した地形を与えた。流れ場の計算に際して、計算領域を一般曲線座標で流下方向に21、横断方向に22グリッドに分割し、全域においてManningの粗度係数を0.032とした。河床材料の限界掃流力を算定するための河床材料粒径については、計算対象地での現地観測結果<sup>11)</sup>より、全域で $d=1\text{mm}$ とし、岩垣式<sup>14)</sup>より無次元限界掃流力を算出した。藻類の増殖解析に用いたパラメータについては、既往の文献に基づいて与えている(表-1、表中の記号については文献<sup>12)</sup>を参照されたい)。

水位、流量に関する境界条件は、以下のように与えた。国土交通省水文水質データベース<sup>18)</sup>により提供されている計算対象区間より4km下流側(木戸観測所)および7.5km上流側(岡崎観測所)における水位データを線形内挿し、計算領域最下流端での水位を算出した。また、流量については木戸観測所におけるH-Q式( $Q=73.73(H-2.73)^2$ ;  $Q$  (m<sup>3</sup>/s),  $H$  (m+T.P.))を用いて算出し、それを計算領域上流端からの流入流量として与えた。なお、木戸観測所と計算対象領域との間には支川の流入・流出はない。このように算出された水位および流量のうち、付着藻類の繁茂解析には河床材料の移動の判定が最も重要となることから、計算期間中の各日における日最大水位および日最大流量を境界条件として与えた。計算対象期間は2005年9月1日～同年12月31日とした。

藻類の増殖解析に必要な河床面での日射量については、田代<sup>17)</sup>に従い、水表面での日平均日射量から水表面での反射と水中での減衰を考慮した以下の式より算出している。

$$I_b = (1 - \delta) I_s \exp(-\lambda h) \quad (1)$$

ここに、 $I_b$ : 河床面日平均日射量、 $\delta$ : 水面のアルベド、 $I_s$ : 水表面日平均日射量、 $\lambda$ : 吸光係数、 $h$ : 水深である。

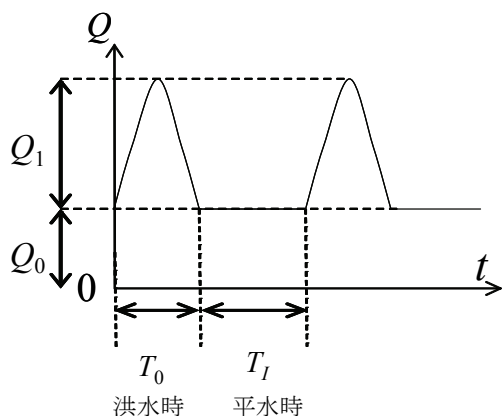


図-2 Case 3-1~Case 3-8における流量変動の模式図

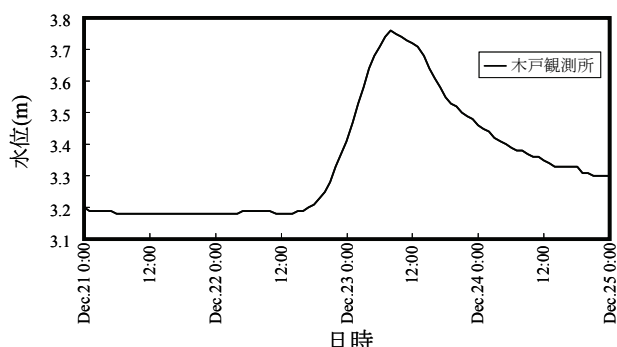


図-3 Chlorophyll aフラックス観測時の水位変動

水温については、国土交通省水文水質データベース<sup>18)</sup>から、計算対象地に最も近い観測所である米津観測所（河口より10.6km地点）の水温データを与えた。

以上の2005年9月1日～同年12月31日までの矢作川での実測条件の下で行われた計算をCase1とする。

河川の流量変動が付着藻類量および藻類一次生産量に与える影響を把握するために、以下2シリーズの数値計算を行った。

まず、河川流量が単純に増加した場合の影響を把握するためのシリーズとして、Case2-1～Case2-4ではCase1の流量条件にそれぞれ5m<sup>3</sup>/s、10 m<sup>3</sup>/s、20 m<sup>3</sup>/s、30 m<sup>3</sup>/sだけ流量を増加させて数値計算を実施した。水位については、各ケースでの流入流量に対応した河川水位を、前述の木戸観測所におけるH-Q式を用いて算出した。Case2-1～Case2-4いずれにおいても水表面日射量、水温条件についてはCase1と同じ条件とした。

次に出水の生起間隔が付着藻類量に与える影響を把握するためのシリーズとして、出水間隔が異なる数値計算を実施した（Case3-1～Case3-8）。Case3-1～Case3-8における流量変動の模式図を図-2に示す。計算領域上流端で与える流量について、出水時と平水時に分け、平水時には一定の流量Q<sub>0</sub>を与えた。出水時には以下の式で示される流量Qを与えた。

$$Q = Q_0 + Q_1 \sin^2 \frac{\pi t'}{T_0} \quad (2)$$

表-2 計算に用いた流量条件

| Case     | 流量条件                                                                                                                                 | 詳細                        |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Case 1   | 矢作川現況流量                                                                                                                              | 2005.9.1～2005.12.31       |
| Case 2-1 | Case 1の現況流量に一定量の流量増加（増加流量Q'）を行った場合                                                                                                   | Q'=5 (m <sup>3</sup> /s)  |
| Case 2-2 |                                                                                                                                      | Q'=10 (m <sup>3</sup> /s) |
| Case 2-3 |                                                                                                                                      | Q'=20 (m <sup>3</sup> /s) |
| Case 2-4 |                                                                                                                                      | Q'=30 (m <sup>3</sup> /s) |
| Case 3-1 | 平水時流量 Q <sub>0</sub> =30 (m <sup>3</sup> /s)，出水時流量 Q <sub>0</sub> +Q <sub>1</sub> =130 (m <sup>3</sup> /s)で出水間隔T <sub>0</sub> が異なる場合 | T <sub>0</sub> =1 (day)   |
| Case 3-2 |                                                                                                                                      | T <sub>0</sub> =2 (day)   |
| Case 3-3 |                                                                                                                                      | T <sub>0</sub> =4 (day)   |
| Case 3-4 |                                                                                                                                      | T <sub>0</sub> =8 (day)   |
| Case 3-5 |                                                                                                                                      | T <sub>0</sub> =16 (day)  |
| Case 3-6 |                                                                                                                                      | T <sub>0</sub> =32 (day)  |
| Case 3-7 |                                                                                                                                      | T <sub>0</sub> =64 (day)  |
| Case 3-8 |                                                                                                                                      | T <sub>0</sub> =128 (day) |
| Case 4   | 矢作川現況流量                                                                                                                              | 2007.12.1～2007.12.31      |

ここにQ<sub>0</sub>：平水時流量，Q<sub>1</sub>：出水ピーク時の増加流量，T<sub>0</sub>：出水継続時間，t'：出水開始からの時間である。図-2中に示されたT<sub>0</sub>は出水の間隔であり、本計算においては、Case3-1～Case3-8でそれぞれT<sub>0</sub>=1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 (day)と設定した。全てのケースにおいて、平水時流量は計算対象域での平常流量と概ね等しいQ<sub>0</sub>=30 (m<sup>3</sup>/s)とし、出水ピーク時の増加流量については、計算対象域での付着藻類が概ね全て流出する流量としてQ<sub>1</sub>=100 (m<sup>3</sup>/s)（ピーク流量Q<sub>0</sub>+Q<sub>1</sub>=130 (m<sup>3</sup>/s)）を与えた。出水継続時間はT<sub>0</sub>=1 (day)とした。また、計算領域下流端での水位については、前述のH-Q式を用いて流量から算定した。計算期間は132日間とし、日射、水温については、2005年8月22日～同年12月31日の実測データをCase1と同様の手法により与えた。

また、次節で示す付着藻類剥離量に関する検証に用いるため、2007年12月1日～同年12月31日の期間の計算を実施した（Case4）。Case4においては、流量、水位、日射、水温条件として計算対象期間にCase1と同じ観測所にて計測された実測値を与えている。

表-2に本数値計算に用いた流量条件一覧を示す。

### (3) モデル検証のための現地観測

本研究で用いる数値解析モデルについて、既往の報告<sup>12)</sup>で、付着藻類の繁茂領域について実測と計算の比較がなされており、流れ場の時空間的な変化に対応した藻類の繁茂域の変化に関する再現性は確認されている。しかしながら、そこでは繁茂領域の比較のみがなされており、藻類量そのものに関する検証は行われていない。これは、砂河床上に繁茂した藻類量を定量的に計測しようとする、藻類を採取する際に、藻類とともに河床材料の砂とを併せて採取することとなり、Chlorophyll aの分析時に砂と藻類を分離することが難しいことに起因している。そこで、本研究では、河床に繁茂した藻類量を直接計測して計算と比較する代わりに、付着藻類の剥離以外に河

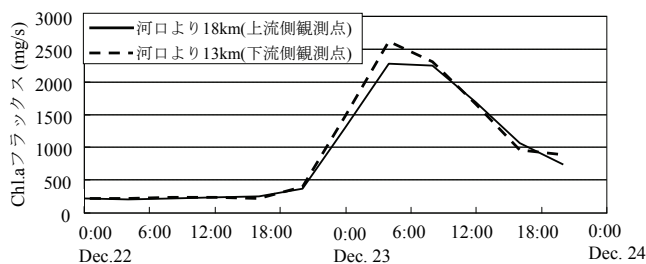


図-4 Chlorophyll aフラックスの観測結果

表-3 藻類剥離量の観測と計算の比較

|      | 藻類剥離量 ( $10^5 \text{mg.chl.a/km}$ ) |
|------|-------------------------------------|
| 現地観測 | 1.6                                 |
| 数値計算 | 1.2                                 |

川水へのChlorophyll aの主な発生源が存在しないと考えられるような小さな出水を対象として、出水前後の藻類分布の差から計算した藻類剥離量の計算値と出水期間中の河川水中を流れるChlorophyll aフラックスの実測値を比較することにより、解析モデルの検証を行うこととする。まず計算対象領域を含み支川の流出入のない区間を選定し、その上下流端の2地点において通過する河川水中のChlorophyll aフラックスを計測する。上下流での通過フラックスの差より、区間内での河床付着藻類剥離量を推定した。観測は矢作川河口より18km地点と13km地点において実施し、両地点において自動採水機（ISCO社製、3700サンプラー）を用いて河川水を採取した。採取された河川水について、サンプル中に含まれるChlorophyll a濃度をUNESCO法<sup>19)</sup>により定量化した。河川流量については、国土交通省水文水質データベース<sup>18)</sup>により提供されている河川流量データを用い、Chlorophyll a濃度と河川流量との積により各断面での通過Chlorophyll aフラックスを算出した。観測は比較的小規模な出水が生じた2007年12月21日12:00～同年12月23日20:00までの60時間行い、4時間毎に1リットルの河川水を採取した。観測期間中の水位の変化を図-3に示す。出水ピーク時の河川水位は平水時に比べて60cm程度上昇しているが、この程度の水位上昇では、水際の砂州植生の一部が冠水するものの砂州や高水敷全体が冠水するには至らず、河床付着藻類の剥離が河川水への主なChlorophyll a負荷の起源と考えられる。

### 3. 計算結果

#### (1) 河床付着藻類剥離量に関する実測と計算の比較

図-4に現地観測により計測された2007年12月22日0:00～同年12月23日20:00における河川水中のChlorophyll aフラックスの時系列変化を示す。洪水のピーク時（12/23, 4:00）付近では、上流側観測点で2300mg/s程度の流入フラックスが2600mg/s程度まで増加しており、観

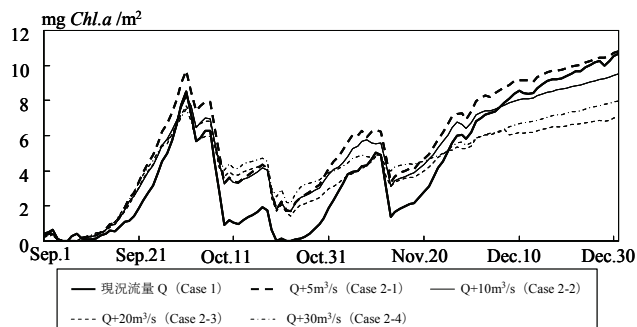


図-5 流量増加時の藻類現存量の変化（Case 2-1～2-4）

表-4 流量増加時の平均現存量および平均生産量

|                                        | 平均現存量<br>( $10^5 \text{mg.chl.a/km}$ ) | 平均生産量<br>( $10^4 \text{mg.chl.a/km/day}$ ) |
|----------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|
| Case 1 (現況流量 $Q$ )                     | 5.5                                    | 2.7                                        |
| Case 2-1 ( $Q+5\text{m}^3/\text{s}$ )  | 8.1                                    | 2.6                                        |
| Case 2-2 ( $Q+10\text{m}^3/\text{s}$ ) | 7.6                                    | 2.3                                        |
| Case 2-3 ( $Q+20\text{m}^3/\text{s}$ ) | 6.7                                    | 2.0                                        |
| Case 2-4 ( $Q+30\text{m}^3/\text{s}$ ) | 7.7                                    | 1.9                                        |

測区間内で藻類剥離によるフラックス増加が生じているものと判断される。上流側観測点での流入フラックスは、観測域よりさらに上流域からの藻類剥離に起因するものと考えられ、本観測対象河川では、観測対象域より19km上流地点にある農業用取水堰（明治頭首工）より下流に広がる典型的な砂河川区間からの藻類剥離が流入フラックスの主要な起源と考えられる。観測区間5kmにおける300mg/sのフラックス増加と比較して、上流側19km区間での2300mg/sの流入フラックス値は、単純に単位流下距離当りの剥離量として比較すると2倍程度大きな値ではあるが、取水堰貯水池からの浮遊性藻類の流入など他の流入フラックスの起源もあることから、概ね妥当な範囲の流入フラックス値であるものと判断される。

上下流の測定点でのChlorophyll aフラックスの差を積分することによって、出水期間中の河床付着藻類の剥離量を推定した結果を表-3に示す。表中には、数値計算で得られた同期間の前後（12月21日および12月24日）における藻類現存量の差より算出した河床付着藻類の剥離量を示す。実測と計算の比較のため、表中の剥離量の値は、実測については計測断面間の距離で、計算については計算対象領域の流下距離で割り、単位河道長さ当たりの剥離量として示している。実測で得られた剥離量は数値計算から得た剥離量より1.3倍ほど大きい値となっている。しかし、実測より得られるフラックス量については、断面内一点のChlorophyll a濃度の計測と流量の積から算出され、比較的、大きな観測誤差を含みやすいことから、この程度の違いについては、実測の誤差範囲内にあるものと思われ、今回用いた数値計算モデルによって、出水に伴う河床付着藻類の剥離特性をある程度定量的に再現できているものと思われる。今後、更なる定量的な検証を行っていくためには、フラックス計測精度の向上と、様々な出水規模および藻類繁茂状態における観測を行っ

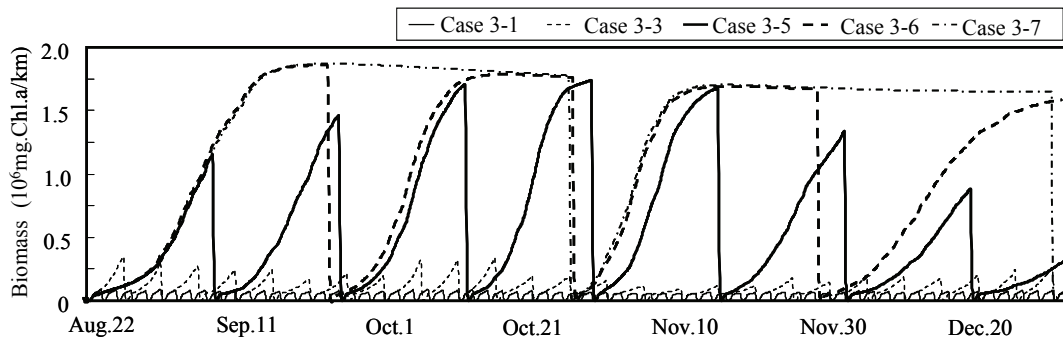


図-6 異なる出水間隔での藻類現存量の変化 (Case 3)

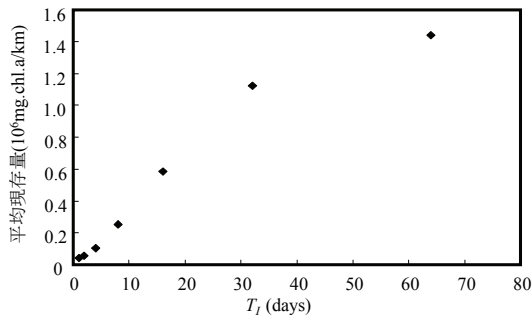


図-7 出水間隔と平均現存量の関係

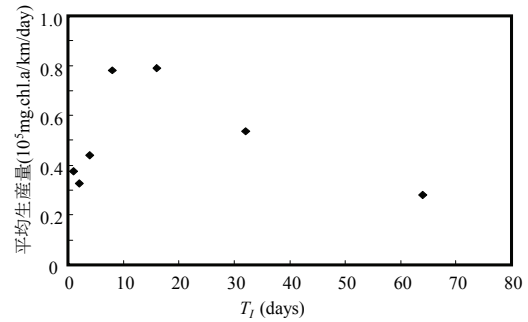


図-8 出水間隔と平均生産量の関係

ていく必要があり、今後の課題である。

## (2) 流量増加が藻類現存量・一次生産量に与える影響

図-5にCase2-1～Case2-4における河床付着藻類の現存量変化を示す。流量増加に伴って、付着藻類の現存量は変化するものの、流量増加量に対する系統的な違いは見られなかった。このことは、一定量の河川流量の増加を行うと、河道滞筋付近では河床材料の移動性が増し生息適地が減少するが、その一方で、増加流量に応じた新たな浅い水域が河川水際近傍に生まれ、それらが付着藻類の新たな生息適地を形成するため、流量増加によって付着藻類現存量は単調には減少せず、水際の河川微地形に応じて複雑な挙動を示すためである。

計算で得られた付着藻類量および藻類量の時間的変化から、計算対象期間での平均現存量と平均生産量を算出したものを表-4に示す。平均現存量については、流量増加に対して不規則に変化しているが、平均生産量については、流量が増加に従って徐々に減少している。平均生産量について、現存量と同様に、河川流況と河川微地形の効果が複合的に表れた結果であるため、流量増加に伴う生産量減少のメカニズムを単純に説明することは困難であるが、結果として、矢作川下流域の現況流量は付着藻類生産力が比較的高い状況であると言える。

## (3) 出水間隔が藻類現存量・一次生産量に与える影響

図-6に人為的な流量変動を与えた場合 (Case3) の河床付着藻類現存量の時系列変化を示す。出水の間隔が増加するのに伴って、平水時における付着藻類の増殖は進行し、各増殖曲線の最大現存量の値は増加していること

が分かる。出水間隔が32日 (Case 3-6) より大きくなると、各間隔での藻類増殖曲線はほぼ環境容量 (増殖平衡状態) まで達していることが分かる。また、各増殖曲線の増殖速度および環境容量は、計算対象期間の日射量および水温の季節的な変化に応じて変化し、増殖速度は10月付近、環境容量については9月頃に大きくなっている。

図-7に藻類現存量の計算期間での平均値 (平均現存量) を、図-8に藻類一次生産量の期間平均値 (平均生産量) を示す。図より平均現存量は出水間隔が長くなるに従って増加するが、平均生産量は、出水の間隔が16日前後でピーク値を取ることが分かる。このことは、出水の間隔が短い場合、付着藻類現存量が十分大きくなる前に出水により流出するため、平均現存量、平均生産量とともに小さくなる。それから出水の間隔が増加するに従って、付着藻類の増殖が進行し、それとともに平均現存量、生産量も増加する。しかし、さらに出水の間隔が増加すると、出水の間の期間における付着藻類の増殖曲線が飽和状態近くまで達し、現存量は大きいものの生産量は小さくなる。以上のようなことから、砂河川における河床付着藻類による一次生産は出水の間隔に対してピーク値を持ち、計算対象とした河川では、出水間隔が16日程度において、最大の一次生産量となることがわかる。

## 4. 結論

本研究では砂河川における河床付着藻類の一次生産について、河川流量の影響を数値解析により検討した。得られた主たる結論は以下の通りである。

- 1) 本解析に用いた数値解析モデルによって、小出水時の付着藻類の剥離量を概ね再現することが出来た。既往の報告<sup>12)</sup>より、藻類空間分布の再現性が確認されており、浅水流解析と藻類増殖解析を組み合わせた本モデルで砂河川における付着藻類の繁茂動態を再現できることが確認された。
- 2) 河川流量を現況流量から一定量増加させた場合、増加流量と藻類量の間に系統的な相関関係は見られなかった。このことは、流量が増加すると河床の平均的なせん断力が増し、湍筋部では藻類の剥離が進むが、河川水際部では水域が拡大し、新たに形成された水際付近の浅水域が付着藻類の生息場となるためであり、この両効果が河川微地形に対応して複合的に表れるためである。
- 3) 出水の間隔が異なる場合の藻類繁茂動態について、出水間隔が増加するに伴って、藻類現存量は単調に増加する。一方、一次生産量については、出水の間隔が短い場合、大きな藻類増殖が生じないため小さくなる。その後、出水間隔が増加するにつれて、生産量は一旦増加するが、出水間隔がさらに長くなると増殖が飽和状態に達し生産量は小さくなる。従って、付着藻類一次生産量は出水間隔に対してピーク値を取り、本解析の対象とした河道区間においては、出水間隔が8~16日程度において生産量が最大となる。

**謝辞：**本研究は文部科学省科学技術振興調整費（代表：辻本哲郎）および学術振興会科学研究費補助金若手研究(B)（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。

## 付録 藻類の増殖モデル<sup>12)</sup>

藻類現存量の計算にはロジスティック方程式を用いる。

$$\frac{dM}{dt} = \mu M \left( 1 - \frac{M}{K} \right) \quad (3)$$

ここに、 $\mu$ ：比増殖速度、 $K$ ：環境容量、 $M$ ：付着藻類の現存量である。比増殖速度は、水温、日射、栄養塩濃度の影響を受け、環境容量は日射量に依存する影響関数を用いて表現している。詳細は文献<sup>12)</sup>を参照されたい。

## 参考文献

- 1) Hoagland, K. D., Roemer, S. E. and Rosowski, J. R.: Colonization and community structure of two periphyton assemblages, with emphasis on the Diatoms (Bacillariophyceae), *American Journal of Botany*, Vol. 69, pp.188-213, 1982.
- 2) 有賀祐勝：水界植物群落の物質生産I，共立出版，1973.
- 3) Lobo, E. A., Katoh, K. and Aruga, Y.: Response of epilithic diatom assemblages to water pollution in rivers in the Tokyo Metropolitan area, Japan, *Freshwater Biology*, Vol. 34, pp.191-204, 1995.
- 4) Biggs, B. J. F., Goring, D. G. and Nikora, V. I.: Subsidy and stress responses of stream periphyton to gradients in water velocity as a function of community growth form, *Journal of Phycology*, Vol.34, pp.598-607, 1998.
- 5) Stevenson, R. J., Christopher, P. G., Kirschtel, D. B., King, C. C. and Tuchman, N. C.: Density dependent growth, ecological strategies, and effects of nutrients and shading on benthic diatom succession in streams, *Journal of Phycology*, Vol. 27, pp.59-69, 1991.
- 6) 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.
- 7) Momo, F. R.: A new model for periphyton growth in running water, *Hydrobiologia*, Vol. 299, pp.215-218, 1995.
- 8) Saravia, L. A., Momo, F. R. and Lissin, L. D. B.: Modelling periphyton dynamics in running water, *Ecological Modelling*, Vol. 114, pp.35-47, 1998.
- 9) Asaeda, T. and Son, D. H.: Spatial structure and populations of a periphyton community: a model and verification, *Ecological Modeling*, Vol. 116, pp. 195-207, 2000.
- 10) 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.
- 11) 戸田祐嗣，辻本哲郎，藤森憲臣：取水量の大きな砂河川における河床付着藻類の繁茂について，河川技術論文集，第11巻，pp.541-546，2005.
- 12) 戸田祐嗣，多田隈由紀，辻本哲郎：砂河川における付着藻類の空間分布に関する研究，水工学論文集，第51巻，pp.1213-1218，2007.
- 13) 長田信寿：一般座標による河川流の計算，水理公式集例題プログラム集，土木学会，例題2-8，2001.
- 14) 岩垣雄一：限界掃流力の流体力学的研究，土木学会論文集，No. 41，pp.1-21，1956.
- 15) 野崎健太郎，神松幸弘，山本敏哉，後藤直成，三田村緒佐武：矢作川中流域における糸状緑藻 *Cladophora glomerata* の光合成活性，矢作川研究，Vol. 7, pp.169-173，2003.
- 16) 池田駿介，戸田祐嗣，佐野貴之：現地観測に基づく瀬の水理と生物一次生産に関する研究，土木学会論文集，No.593，pp.93-104，1998.
- 17) 田代喬：ダム下流河道における河床低撓乱化に着目した水域生態系評価に関する研究，名古屋大学学位論文，2002.
- 18) 国土交通省水文水質データベース（岡崎，木戸および米津観測所における資料，<http://www1.river.go.jp/>）
- 19) SCOR/UNESCO: Determination of photosynthetic pigments in sea water, *Monograph of Oceanographic Methodology*, 1, pp.1-65, 1975.

(2008. 9. 30受付)