

調査報告

## 矢作川中流域における糸状緑藻 *Cladophora glomerata* の 光合成活性

Photosynthetic activity of a filamentous green alga *Cladophora glomerata* in the middle region of the Yahagi River

野崎 健太郎<sup>1)\*</sup>・神松 幸弘<sup>2)</sup>・山本 敏哉<sup>3)</sup>・後藤 直成<sup>1)</sup>・三田村 緒佐武<sup>1)</sup>

Kentaro NOZAKI, Yukihiro KOHMATSU, Toshiya YAMAMOTO, Naoshige GOTO and Osamu MITAMURA

### 要 約

矢作川中流域(愛知県豊田市)における,大型糸状緑藻 *Cladophora glomerata* の季節消長の要因を理解するために,2001年4月から2002年3月にかけて *C. glomerata* の光合成活性を調べた。光合成一光曲線から得られた最大光合成速度 ( $P_{max}$ ) は, 0.52 (2月) ~ 2.45 (5月) mg C mg Chl.  $a^{-1} h^{-1}$ , 呼吸速度 (R) は, 0.08 (2月) ~ 0.58 (7月) mg C mg Chl.  $a^{-1} h^{-1}$  の幅で変動した。 $P_{max}$  と R は水温の変化に対応して季節変動すると考えられた。現存量の増加に結びつく純光合成速度は, 4月~5月そして9月に高くなり, この時期は潜在的な成長速度が早いことが予測された。過去の研究では, 矢作川中流域の *C. glomerata* 現存量は, 初夏と秋に極大を示すことが報告され, 本研究で得られた光合成活性の季節変化の傾向とうまく適合した。しかしながら, 本研究では, *C. glomerata* の現存量が初夏に増加することはなかった。この時期には, 河床かく乱のような現存量を減ずる要因が大きく影響していることが予想された。

キーワード: *Cladophora glomerata*, 光合成, 呼吸, 水温

### はじめに

河床石面上の底生藻群落における *Cladophora*, *Spirogyra*, *Ulothrix* のような大型糸状緑藻の大繁茂は, 河川への栄養塩負荷の増加, あるいは異常気象や人間の過剰な水利用に起因する河床かく乱の低下など河川環境の大きな変化を示していると考えられる。その大繁茂は河川の景観を著しく変化させるだけでなく, 他の河川生物の生息環境や, 食う一食われる関係に代表される生物間相互作用などの改変を引き起こしている(野崎・内田, 2000の総説を参照)。更に, これらは, 河川から取水する用水路や浄水場ろ過池の通水阻害や, 河底で堆積腐敗して水に異臭味を付け, 人間生活に直結する被害も報告され(Dodds and Gudder, 1992), 迷惑な藻類(nuisance algae)と呼ばれている(Whitton, 2000)。従って, 糸状緑藻群落が発達する原因を探ることは, その河川に起きている環境変化の実態の把握, そしてより良い河川環境を取り戻すために意義がある。

愛知県三河地方西部の母なる河である矢作川中流域(豊田市周辺)では, 釣師の記録から1990年代に入ると, *Cladophora glomerata* 群落の発達が顕著になり, 鮎の友釣りの障害となってきた(山本, 2000)。これは, 矢作川における近年の大きな環境変化の1つである。矢作川の *C. glomerata* は, 初夏と秋~冬の年2回, その現存量が

極大に達することが報告されてきている(内田ほか, 2002)。河川底生藻の現存量は, 増加要因である成長や蓄積と, 減少要因である河床かく乱による剥離や動物による捕食によって決定される(Biggs, 1996)。近年の矢作川中流域における *C. glomerata* 群落の発達は, ダム建設による河床かく乱頻度の低下(北村ほか, 2000; 野崎・内田, 2000; 内田ほか, 2002)が, その原因として考えられているが, 1年間の中で現存量が2回の極大を示す理由については明らかにされていない。これは現存量を決定する要因として, 河床かく乱に代表される, 現存量を減少させる方向に作用する要因の理解にのみ焦点を当てていて, 増加要因, 特に成長に関する研究が皆無である点に原因がある。そこで, 本研究では, *C. glomerata* の成長の指標として, 光合成活性を測定し, その変動から, *C. glomerata* 群落の季節消長の原因を解析した。

### 方 法

野外観測は, 河口からおよそ43 km地点の中流域(愛知県豊田市)で, 2001年4月から2002年3月にかけて月1回の頻度で実施した(図1)。底生藻の採集は, 川底に方形枠(25 cm×25 cm)を置き, 内部の石を全て取り上げ, *C. glomerata* など糸状緑藻は丁寧に手でつまみ取り, 残った石面付着物は金属ブラシで剥ぎ取り, 水に懸

濁させることによって行った (Nozaki et al., 2002). 底生藻の懸濁試料は, *C. glomerata* 細胞の計数および, クロロフィル *a* の定量に用いた. 細胞数は, 懸濁試料を駒込ピペットで計数板 (Matsunami, S 6117, 格子 1 mm × 1 mm, 容量 1 mL) に入れ, 光学顕微鏡下で計数した. なお, *C. glomerata* が増殖している期間の試料は, 駒込ピペットでは, 群体が詰まってしまう, うまく分注出来ない場合がある. その際には, *C. glomerata* 群体をはさみで短く切断する前処理を行って計数した. クロロフィル *a* は, ガラス繊維ろ紙 (Advantec, GF-75, 47 mm) 上に捕集した懸濁物から 90% アセトンで色素を抽出し, Lorenzen (1967) の方法で算出した.

底生藻の光合成は, *C. glomerata* 単独と群落全体 (*C. glomerata* を含む) で, それぞれ測定した. ただし 2001 年 4 月の底生藻群落全体の測定は欠測, 2001 年 6 月, 8 月は *C. glomerata* 群落が著しく減衰したために単独で測定することが出来なかった. 光合成は, 現場で採集した試料を用いて実験室で明暗びんを用いて測定した (Nozaki, 2001; Nozaki et al., 2002). 試料は, 河川水

でクロロフィル *a* 濃度が 0.1~0.2 mg L<sup>-1</sup> になるように希釈し, 酸素びん (100 mL) に分注した. 酸素びんは, 暗室に設置し現場水温に保った水槽に入れ, 白熱電球 (300 W × 2 本, National RF300, 松下電工) で 3 時間照射した. 光強度は光源からの距離で調整し, 5~900 μmol photon m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> の間に 6 段階設定した. 培養終了後, 0.00625 M のチオ硫酸ナトリウム溶液 (3.1 g L<sup>-1</sup>) を用いた Winkler 法で, びん内の酸素を定量した. 培養期間中に生じた溶存酸素の増減は, 呼吸商を 1 と見なし炭素に換算した. 光合成-光曲線は, 以下の式 (Tamiya, 1951) で近似させた.

$$P = bI / (1 + aI)$$

ここで

P: 総光合成速度 (mg C mg Chl. a<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)

I: 光強度 (μmol photon m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

a および b: 光合成-光曲線の定数

得られた光合成-光曲線が光飽和する光合成速度を, 最大総光合成速度 (P<sub>max</sub>) として活性の指標とした.

## 結 果

*C. glomerata* 細胞数と底生藻群落全体のクロロフィル *a* 量の季節変化は図 2 に示した. *C. glomerata* の細胞数は, 4 月~9 月までは低く維持され, 肉眼では石面上に殆ど見られなかった. 特に 6 月には 28 ± 42 細胞 cm<sup>-2</sup> (平均値 ± 標準偏差, 試料数 3) の極小値を示した. 10

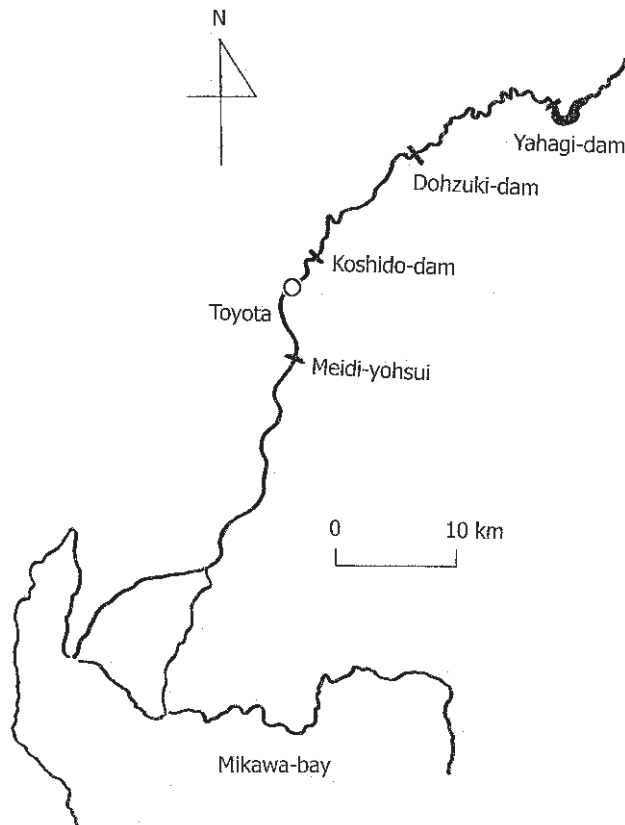


図 1 矢作川と調査地点 (○).

Fig. 1 Yahagi River and the location of study site (○).

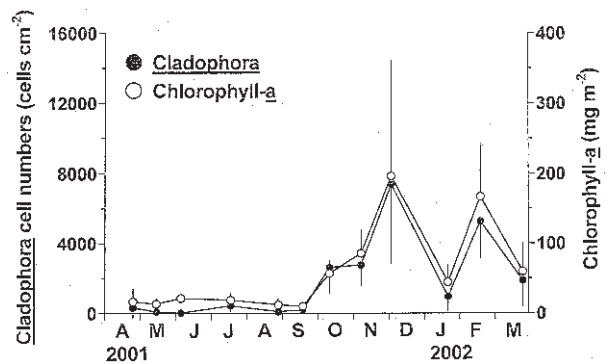


図 2 糸状緑藻 *Cladophora glomerata* の細胞数 (●) および, 河床の底生藻群落のクロロフィル *a* 量 (○) の季節変動 (平均値 ± 標準偏差, 試料数 3).

Fig. 2 Seasonal variations of cell numbers of a filamentous green alga, *Cladophora glomerata* (●, mean ± SD, n=3), and chlorophyll *a* amounts in benthic algal communities (○, mean ± SD, n=3).

月からは細胞数が増加し、12月と2月に  $7408 \pm 4558$ ,  $5274 \pm 2108$  細胞  $\text{cm}^{-2}$  の極大値がそれぞれ観察された。底生藻群落全体のクロロフィル *a* 量は、*C. glomerata* 細胞数が低い4月～9月では、 $10 \pm 3$  (9月)～ $22 \pm 1$  (6月)  $\text{mg m}^{-2}$  (平均値±標準偏差, 試料数3) の間で変動し顕著に増加することは無かった。一方、石面上に *C. glomerata* が肉眼で観察される10月～3月では、クロロフィル *a* 量は、 $44 \pm 24$  (3月)～ $197 \pm 164$  (12月)  $\text{mg m}^{-2}$  の間で変動し、細胞数と同様に12月と2月に極大値が得られた。細胞数とクロロフィル *a* 量の季節変化は良く一致し、両者の平均値の相関は極めて高かった (図3,  $r^2 = 0.97$ ,  $p < 0.01$ ,  $y = 0.026x + 10.72$ )。

*C. glomerata* および底生藻群落全体の光合成-光曲線は、図4に示した。全ての測定で顕著な強光障害は観察されなかった。*C. glomerata* の  $P_{\max}$  は、細胞数が極めて少なく単独での測定が不可能であった6月と8月を除くと、4月から12月の間で高い値が得られ、 $1.24$  (12月)～ $2.45$  (5月)  $\text{mg C mg Chl. a}^{-1} \text{h}^{-1}$  の間で変動した。9月以降の  $P_{\max}$  は、12月にかけて緩やかに減少し、1月に入ると  $0.65 \text{ mg C mg Chl. a}^{-1} \text{h}^{-1}$  に半減した。極小値は2月に得られた  $0.52 \text{ mg C mg Chl. a}^{-1} \text{h}^{-1}$  であった。底生藻群落全体の  $P_{\max}$  は  $0.55$  (9月)～ $2.09$  (7月)  $\text{mg C mg Chl. a}^{-1} \text{h}^{-1}$  の間で変動し、季節変化の傾向は、大まかには *C. glomerata* の  $P_{\max}$  と同じであったが、8月と9月には非常に低い値を示した。特に9月では、わずかに生育していた *C. glomerata* が高い  $P_{\max}$  を示した

のに対して、群落全体の値は調査期間中の最小値を示した。おそらく *C. glomerata* 以外の藻類の光合成活性が低下していたのであろう。表1は、*C. glomerata* および群落全体の光合成-光曲線の定数 *a*, *b*,  $P_{\max}$  および呼吸速度 *R* をまとめたものである。*R* は、4月～8月の値が、*C. glomerata* では  $0.25$  (4月)～ $0.58$  (7月)、群落全

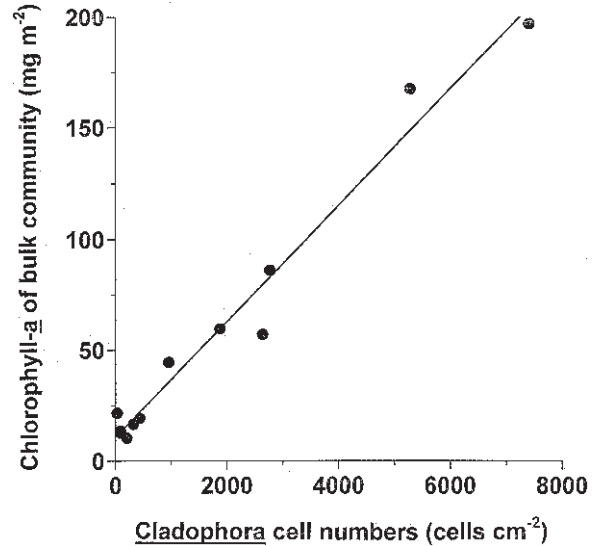


図3 糸状緑藻 *Cladophora glomerata* の細胞数および、底生藻群落のクロロフィル *a* 量の関係 ( $r^2 = 0.97$ ,  $p < 0.01$ ,  $y = 0.026x + 10.72$ )。

Fig. 3 Relationship between cell numbers of a filamentous green alga, *Cladophora glomerata*, and chlorophyll *a* amounts in benthic algal community ( $r^2 = 0.97$ ,  $p < 0.01$ ,  $y = 0.026x + 10.72$ ).

表1 糸状緑藻 *Cladophora glomerata* と底生藻群落全体で測定された光合成-光曲線の定数 (*a*, *b*) 最大光合成速度 ( $P_{\max}$ ) および呼吸速度 (*R*)。

Table1 Constants (*a*, *b*) of Photosynthesis - irradiance curves, maximum photosynthetic rate ( $P_{\max}$ ) and respiration rate (*R*) obtained from a large filamentous green alga, *Cladophora glomerata*, and bulk sample of benthic algal community.

Date	<i>Cladophora</i> community				Bulk benthic algal community			
	<i>a</i>	<i>b</i>	$P_{\max}$	<i>R</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	$P_{\max}$	<i>R</i>
	(mg C mg Chl. $\text{a}^{-1} \text{h}^{-1}$ )				(mg C mg Chl. $\text{a}^{-1} \text{h}^{-1}$ )			
25 Apr. 2001	0.018	0.035	1.76	0.25	no data	no data	no data	no data
15 May	0.023	0.063	2.45	0.34	0.028	0.051	1.173	0.39
5 Jun.	no data	no data	no data	no data	0.017	0.032	1.58	0.55
18 Jul.	0.019	0.043	1.78	0.58	0.013	0.038	2.09	0.75
28 Aug.	no data	no data	no data	no data	0.015	0.008	0.56	0.49
18 Sep.	0.029	0.055	1.59	0.14	0.023	0.012	0.55	0.16
11 Oct.	0.008	0.015	1.48	0.14	0.012	0.024	1.64	0.23
7 Nov.	0.021	0.034	1.29	0.23	0.018	0.014	0.77	0.13
3 Dec.	0.039	0.049	1.24	0.30	0.067	0.071	1.20	0.19
15 Jan. 2002	0.088	0.048	0.65	0.17	0.050	0.031	0.67	0.15
18 Feb.	0.027	0.015	0.52	0.08	0.015	0.019	0.88	0.12
26 Mar.	0.041	0.029	0.76	0.17	0.054	0.033	0.68	0.18

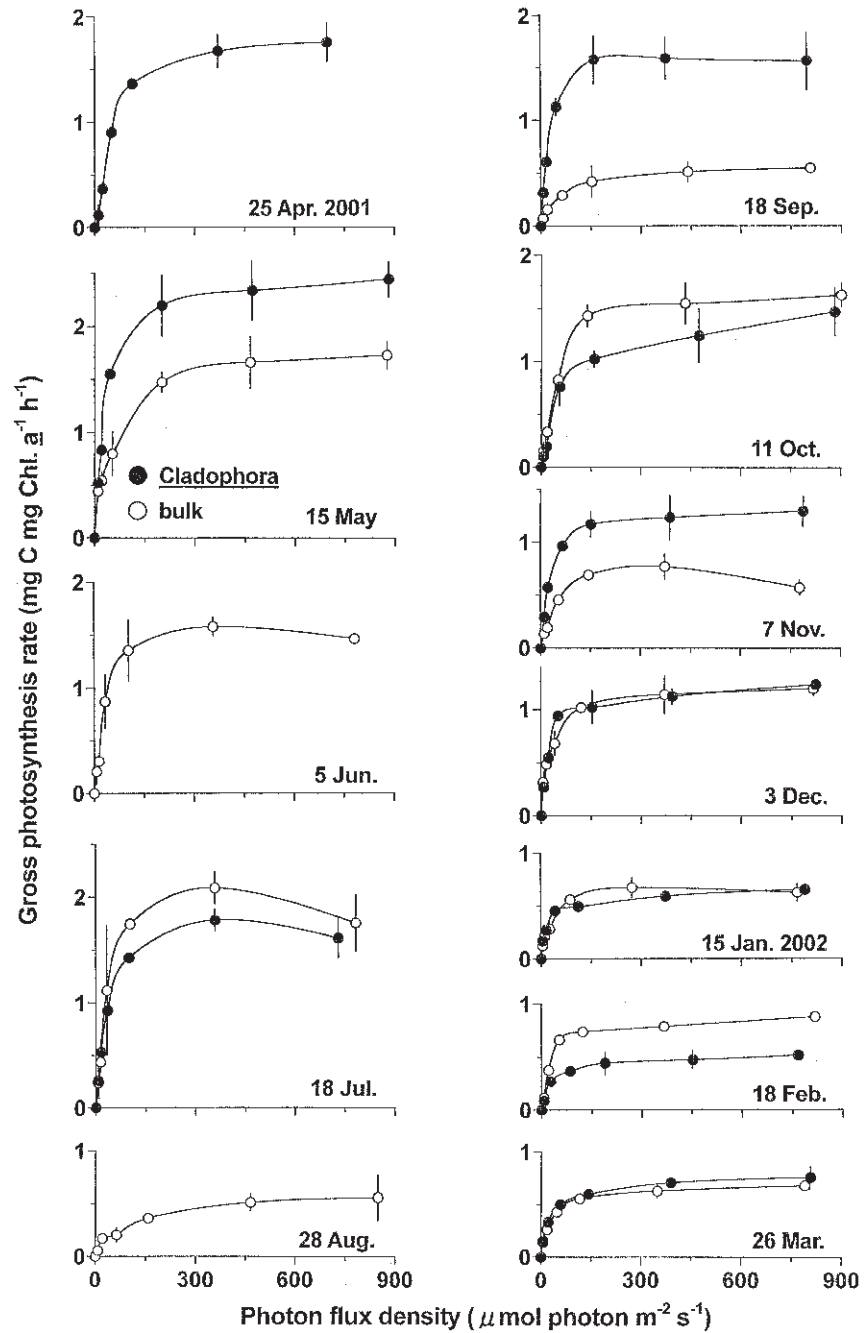


図4 糸状緑藻 *Cladophora glomerata* (●) および、底生藻群落全体 (○) の光合成-光曲線 (平均値±標準偏差, 試料数3)。

Fig. 4 Photosynthesis - irradiance curves of a filamentous green alga, *Cladophora glomerata* (●, mean±SD, n=3), and bulk sample of benthic algal community (○, mean±SD, n=3).

体では 0.39 (5月) ~ 0.75 (7月) mg C mg Chl.  $a^{-1}$  h $^{-1}$  を示し、9月以降に比べて高い値となった。極小値は2月に得られ、*C. glomerata* で 0.08, 群落全体で 0.12 mg C mg Chl.  $a^{-1}$  h $^{-1}$  であった。

### 考 察

鮎釣師の記録によると(山本, 2000), 1990年代に入ると、矢作川中流域で *C. glomerata* が繁茂し、友釣りの障害になることが記述されている。友釣りが行われる時期を考えると、その繁茂は6月~9月中旬に発生していたことが予想される。事実、内田ほか(2002)は、2000年初夏に *C. glomerata* 群落が発達したことを報告している。また、多摩川中流域でも春~初夏に河床石面を *C. glomerata* 群落が頻繁に覆うことが観察されている (Okada and Watanabe, 2002)。しかしながら、2002年の初夏には、*C. glomerata* 細胞数は増加せず、釣りの障害になるような大繁茂は観察されなかった。むしろ群落は友釣り期間終了後の10月から発達が見られた。この秋の増殖は従来の調査結果と良く一致する (内田, 2002)。

藻類の大増殖には、成長速度の上昇、そして、河床かく乱や捕食による現存量の消失が低く抑えられ蓄積することが必要となる (Biggs, 1996)。 *C. glomerata* の野外における消長には、水温が最も重要な要因となることが

古くから指摘されてきた (Belis, 1968; Wong et al., 1978; Lorenz and Herdendorf, 1982; Hoffman and Graham, 1984)。つまり、水温が成長律速要因の1つとして重要であることを示している。図5は、光合成測定時の水温と  $P_{max}$  (a) および、R (b) との関係を示した図である。 *C. glomerata* の  $P_{max}$  は、水温が19°Cであった5月に最大値を記録し、Rの値を考慮した純光合成速度でも 2.11 mg C mg Chl.  $a^{-1}$  h $^{-1}$  となり最大である。

5月の *C. glomerata* の潜在的な成長速度は1年の中で最も高い可能性がある。従って、今回は観察されなかったが、過去に *C. glomerata* が初夏に大増殖したことは、成長の面から見ると理にかなう結果である。Graham et al. (1982) は、培養株を用いた室内実験の結果から、 *C. glomerata* の純光合成速度は、水温が13~17°C, 光強度が300~600  $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$  の間で最大なることを見出しており、水温に関しては、本研究の結果とおおよそ一致する。

8月には、 *C. glomerata* が少なくなり、単独での光合成の測定は不可能であったが、底生藻群落全体として測定された  $P_{max}$  は低下し、Rの値も高いことから、 *C. glomerata* の純光合成速度は低下しているものと考えられる。夏期に *C. glomerata* が減衰することは、北米大陸五大湖のエリー湖沿岸 (Lorenz and Herdendorf, 1982)、オンタリオ湖沿岸 (Bellis and McLarty, 1967) で観察

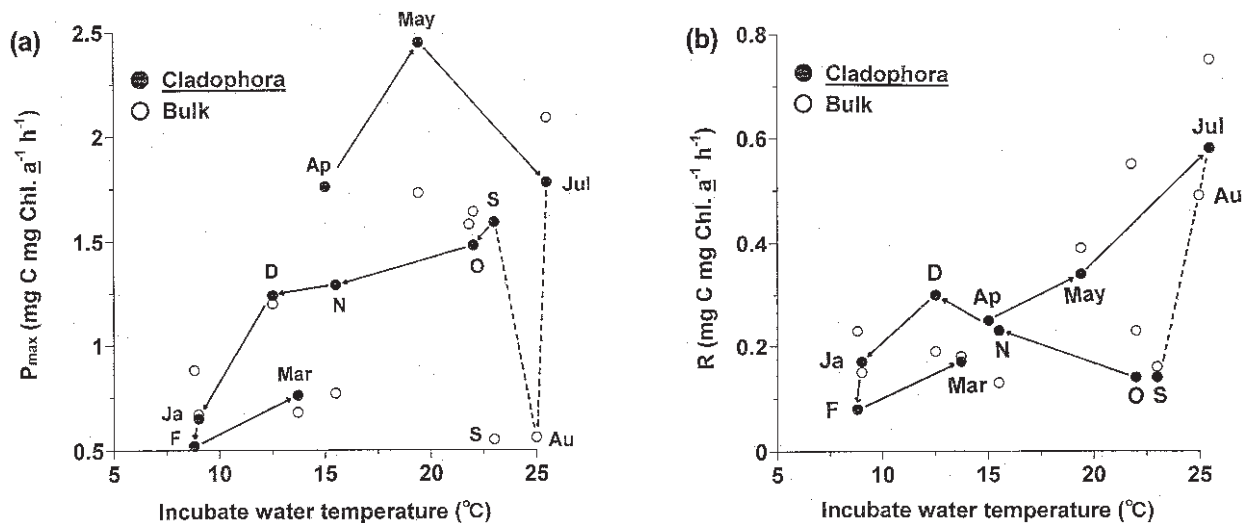


図5 培養水温の変化を考慮した、糸状緑藻 *Cladophora glomerata* (●) と底生藻群落全体 (○) の最大光合成速度 ( $P_{max}$ =a) および呼吸速度 (R=b) の季節変化。実線は、 *C. glomerata* の  $P_{max}$  値を結んでいる。8月の *C. glomerata* の  $P_{max}$  および R 値は、細胞が少なく測定不可能であったが、底生藻群落全体の値と、ほぼ同じであると仮定し点線で連結した。

Fig. 5 Seasonal changes of  $P_{max}$  (a) and R (b) values obtained from a filamentous green alga, *Cladophora glomerata* (●), and bulk sample of benthic algal community (○) in relation to the water temperature when the photosynthesis was measured. The values of *C. glomerata* were connected seasonally with solid line. The  $P_{max}$  and R value of *C. glomerata* in August could not measure due to it's decreasing. Thus, the value that was speculated in similar to that of bulk community was connected with dotted line.



されており、Graham et al. (1982) の研究で水温が 25°C 以上になると純光合成速度が低下することから、夏期の高水温による成長阻害が有力な要因とされている (Dodd and Gudder, 1992)。矢作川中流域においても 7 月～8 月にかけて河川水温が 25°C 以上に達する (白金, 2002) ので、高水温による成長阻害が生じていると考えるのが妥当であろう。

水温がやや低下した 9 月に入ると、わずかに増加した *C. glomerata* は、高い  $P_{max}$  を示し、更に R が 7 月に観察された  $0.58 \text{ mg C mg Chl. } a^{-1} \text{ h}^{-1}$  から  $0.14 \text{ mg C mg Chl. } a^{-1} \text{ h}^{-1}$  に低下しているために、純生産速度としては 7 月を上回った。これが 10 月以降の群落の発達に寄与しているのであろう。9 月以降、*C. glomerata* 群落の発達とは逆に、 $P_{max}$  は減少していった。図 6 は、*C. glomerata* 細胞数とその  $P_{max}$  との関係であるが、高い  $P_{max}$  は、細胞数が少ない時期に得られる傾向が見られた。これは、群落が厚くなるとともに下部に位置する細胞は、上部の細胞に遮光され活性が低下するのが原因であろう (相崎, 1980; Boston and Hill, 1991; Hill and Boston, 1991; Nozaki, 1999; 2001)。更に 1 月の急激な低下は、10°C 以下の低水温による活性低下であると思われる (Bellis, 1968)。

本研究の結果から、矢作川中流域における *C. glomerata* の光合成活性は、水温の変化に大きく影響を受けていることが予測された。また、光合成活性を潜在的な成長速度の指標と見なせば、従来から観察されていた本

種の初夏と秋の増殖は、高い光合成を反映していたものである可能性が高い。しかしながら、本研究では初夏の増殖は見られなかった。つまり 5 月に得られた高い光合成活性は、群落の発達に結びつかなかったのである。初夏には、成長速度は高いと予測されるので *C. glomerata* の現存量を減らす要因が大きく作用したと考えられる。内田ほか (2002) は、2001 年初夏に *C. glomerata* 群落が発達しなかった理由として、2000 年秋に生じた東海豪雨による大規模な河床かく乱の影響 (田中, 2002) が残存しているとの仮説を提唱している。しかしながら 2002 年の初夏にも、本種の増殖は観察されなかった (野崎ほか, 未発表)。Power (1992) は米国カリフォルニア州の河川では、冬期に増水が生じると、河床かく乱によって捕食者である水生動物が一掃されるので、春になると *C. glomerata* 群落が良く発達することを述べているが、これも今回の現象を説明することは出来ない。*C. glomerata* のような大型糸状緑藻群落の発達には長い期間がかかるため (Peterson and Stevenson, 1992)、河床の長期間に渡る安定が重要な要因である (Power and Stewart, 1987; Uehlinger, 1991; Power, 1992, 三橋・野崎, 1999)。本稿では取り組むまでに至らなかったが、本研究の結果を説明するには、この河床の安定性について解析することが必要であると考えられる。

## Summary

Photosynthetic activity of a large filamentous green alga, *Cladophora glomerata*, was investigated to understand their seasonal fluctuation in the middle region of the Yahagi River, Toyota, Aichi, Japan, from April 2001 to March 2002. Maximum photosynthetic rates ( $P_{max}$ ) obtained from photosynthesis-irradiance curves and respiration rates (R) varied in the ranges of 0.52 (February)–2.45 (May)  $\text{mg C mg Chl. } a^{-1} \text{ h}^{-1}$ , and 0.08 (February)–0.58 (July)  $\text{mg C mg Chl. } a^{-1} \text{ h}^{-1}$ , respectively. Seasonal changes of the  $P_{max}$  and R values seemed to be related to the change of water temperature. We presumed that the *C. glomerata* propagates in early summer and autumn, because the net photosynthesis rates which directly connect to the growth were high at April, May and September. Some previous studies were reported that the development of *C. glomerata* community was observed in early summer and

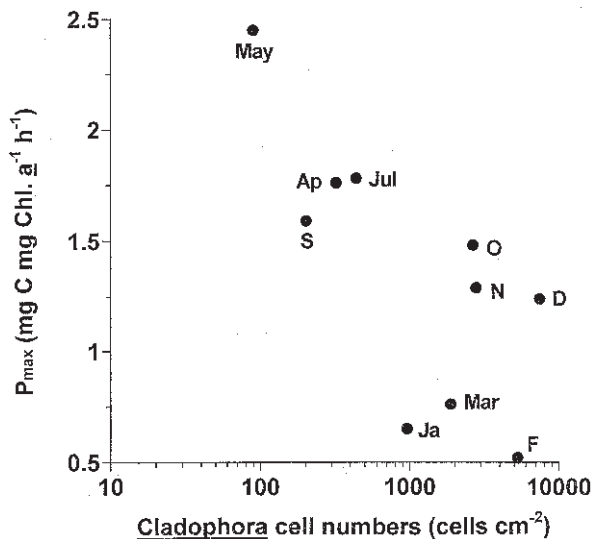


図 6 糸状緑藻 *Cladophora glomerata* の細胞数と最大光合成速度 ( $P_{max}$ ) との関係。

Fig. 6 Relationship between the cell number and  $P_{max}$  value of a filamentous green alga, *Cladophora glomerata*.

autumn. However, the biomass of *C. glomerata* did not increase in early summer in this study. We speculated that any factor regulating the biomass increase such as a disturbance of river-bed had an influence on community development of *C. glomerata* in early summer 2002.

## 謝 辞

本研究の遂行に当たり、河川整備基金（河川環境管理財団）の補助、および豊田市矢作川研究所から研究環境の提供を受けた。両者に深く感謝いたします。

## 文献

- 相崎守弘 (1980) : 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 : 225-234.
- Bellis, V. J. (1968) : Unialgal cultures of *Cladophora glomerata* (L.) KUTZ. 1. Response to temperature. Journal of Phycology, 4 : 19-23.
- Bellis, V. J. and McLarly, D. A. (1967) : Ecology of *Cladophora glomerata* (L.) KUTZ. in southern Ontario. Journal of Phycology, 3 : 57-63.
- Boston, H. L. and Hill, W. R. (1991) : Photosynthesis-light relations of stream periphyton communities. Limnology and Oceanography, 36 : 644-656.
- Biggs, B. J. F. (1996) : Patterns in benthic algae of streams. In Algal Ecology Freshwater Benthic Ecosystems, J. Stevenson, M. L. Bothwell and R. Lowe (eds.) 31-56. Academic Press, San Diego.
- Dodds, W. K. and Gudder, D. A. (1992) : The ecology of *Cladophora*. Journal of Phycology, 28 : 415-427.
- Graham, J. M., Auer, M. T., Canale, R. P. and Hoffmann, P. (1982) : Ecological studies and mathematical modeling of *Cladophora* in Lake Huron : 4. Photosynthesis and respiration as functions of light and temperature. Journal of the Great Lakes Research, 8 : 100-111.
- Hill, W. R. and Boston, H. L. (1991) : Community development alters photosynthesis-irradiance relations in stream periphyton. Limnology and Oceanography, 36 : 1375-1389.
- Hoffmann, J. P. and Graham, L. E. (1984) : Effects of selected physicochemical factors on growth and zoosporogenesis of *Cladophora glomerata* (CHLOROPHYTA). Journal of Phycology, 20 : 1-7.
- 北村忠紀・加藤万貴・田代喬・辻本哲郎 (2000) : 砂利投入による付着藻類カワシオグサの剝離除去に関する実験的研究. 河川技術に関する論文集, 6 : 125-130.
- Lorenz, C. R. and Herdendorf, C. E. (1982) : Growth dynamics of *Cladophora glomerata* in western Lake Erie in relation to some environmental factors. Journal of the Great Lakes Research, 8 : 42-53.
- Lorenzen, C. J. (1967) : A note on the estimation of chlorophyll a in freshwater algal communities. Limnology and Oceanography, 12 : 340-346.
- 三橋弘宗・野崎健太郎 (1999) : 三重県宮川における糸状緑藻 *Spirogyra* sp. の大発生. 陸水生物学報, 14 : 9-15.
- Nozaki, K. (1999) : Algal community structure in a littoral zone in the north basin of Lake Biwa. Japanese Journal of Limnology, 60 : 139-157.
- Nozaki, K. (2001) : Abrupt change in primary productivity in a littoral zone of Lake Biwa with the development of a filamentous green-algal community. Freshwater Biology, 46 : 587-602.
- Nozaki, K., Morino, H., Munehara, H., Sideleva, V. G., Nakai, K., Yamauchi, M., Kozhova, O. M. and Nakanishi, M. (2002) : Composition, biomass and photosynthetic activity of the benthic algal communities in a littoral zone of Lake Baikal in summer. Limnology, 3 : 175-180.
- 野崎健太郎・内田朝子 (2000) : 河川における糸状緑藻の大発生. 矢作川研究, 4 : 159-168.
- Okada, H. and Watanabe, Y. (2002) : Effect of physical factors on the distribution of filamentous green algae in the Tama River. Limnology, 3 : 121-126.
- Peterson, C. G. and Stevenson, J. (1992) : Resistance and resilience of lotic algal communities : importance of disturbance timing and current. Ecology, 73 : 1445-1461.
- Power, M. E. (1992) : Hydrologic and trophic controls of seasonal algal blooms in northern California rivers. Archiv für Hydrobiologie, 125 : 385-410.
- Power, M. E. and Stewart, A. J. (1987) : Disturbance and recovery of an algal assemblage following flooding in an Oklahoma stream. American Midland Naturalist, 117 : 333-345.
- 白金晶子 (2002) : 矢作川中流域の水質. 矢作川研究, 6 : 99-111.
- Tamiya, H. (1951) : Some theoretical notes on the kinetics of algal growth. Botanical Magazine, Tokyo, 64 : 167-173.
- 田中蕃 (2002) : 矢作川における平成 12 年 9 月「東海豪雨」の影響. 矢作川研究, 6 : 125-138.
- 内田朝子・藤居勇・山戸孝浩 (2002) : 矢作川における大型糸状緑藻の時空間変動. 矢作川研究, 6 : 113-124.
- Uehlinger, U. (1991) : Spatial and temporal variability of the periphyton biomass in a prealpine river (Necker, Switzerland).

land). Archiv für Hydrobiologie, 123: 219-237.

Whitton, B. A. (2000): Increase in nuisance macro-algae in rivers: a review. Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, 27: 1257-1259.

Wong, S. L., Clark, B., Kirby, M. and Kosciuw, R. F. (1978): Water temperature fluctuations and seasonal periodicity of *Cladophora* and *Potamogeton* in shallow rivers. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 35: 866-870.

山本敏哉(2000): アユ釣りの記録からたどった釣果の変遷. 矢作川

研究, 4: 169-175.

- 1) 滋賀県立大学湖沼環境実験施設: 〒 522-0057 滋賀県彦根市八坂町 3165
  - 2) 総合地球環境学研究所: 〒 602-0878 京都府京都市上京区丸田町通河原町西入高島町 335 番地
  - 3) 豊田市矢作川研究所: 〒 471-0025 愛知県豊田市西町 2-19
- \* 現所属 椋山女学園大学人間関係学部: 〒 470-0131 愛知県日進市岩崎町竹ノ山 37-234