

# 矢作川中流における浮遊珪藻 *Asterionella formosa* Hassall と *Fragilaria crotonensis* Kitton の細胞数の季節変動

Seasonal changes in cell numbers of planktonic diatoms *Asterionella formosa* Hassall and *Fragilaria crotonensis* Kitton in the middle reach of the Yahagigawa River at the Tokai region of Japan

野崎健太郎<sup>1)</sup>・白金晶子<sup>2)</sup>

Kentaro NOZAKI<sup>1)</sup> and Akiko SHIRAGANE<sup>2)</sup>

## 要 約

2005年1月～2007年12月の3年間に渡り、矢作川中流域(河口から42 km 地点)において河川水中の浮遊藻細胞数の季節変動を調べた。優占種は、羽状珪藻の *Asterionella formosa* Hassall と *Fragilaria crotonensis* Kitton であった。10000～15000 cells mL<sup>-1</sup> に達する浮遊藻の顕著な増加は、2005年には5月～6月、2006年には、4月～5月、2007年には4月～5月と7月に見られた。これらの増加は、2005年と2006年は、*A. formosa*、2007年は4月～5月の増加は *A. formosa* と *F. crotonensis*、7月の増加は *F. crotonensis* によって形成されていた。両種の生細胞 (Live cell) と空細胞 (Empty cell) との関係からは、細胞数が1000 cells mL<sup>-1</sup> 以上では、空細胞の割合は10%以下、4000 cells mL<sup>-1</sup> 以上では、殆どが5%以下であり、細胞数が増加した時期には、*A. formosa* と *F. crotonensis* の90～95%が生細胞であり、生きている状態で浮遊していることがわかった。調査地点のクロロフィル *a* 量は、浮遊藻の細胞数の季節変動とほぼ一致し、*A. formosa* と *F. crotonensis* の生細胞数とクロロフィル *a* 濃度との関係には有意な相関関係が見られ ( $r^2 = 0.850$ )、この2種類の浮遊珪藻の増減が、河川水中のクロロフィル *a* 量に大きな影響を与えていることがわかった。*A. formosa* と *F. crotonensis* の出現状況は年によって異なり、その年変動には、降水量の違いが影響を与えていると考えられた。*A. formosa* は、貯水池から流下した limnoplankton であるが、渇水期には、流下しながら増殖する可能性が示された。2005年5月は、*A. formosa* の細胞数がおよそ2週間に渡って10000 cells mL<sup>-1</sup> を超え、この期間の *A. formosa* に起因する濁度は2～3 mg L<sup>-1</sup> と推定された。他の要因による1.8 mg L<sup>-1</sup> を加えると、降雨による出水が無いにもかかわらず、4～5 mg L<sup>-1</sup> 程度の濁度が継続していた。

キーワード：日本の河川、浮遊珪藻、*Asterionella formosa* Hassall (ホシガタケイソウ)、*Fragilaria crotonensis* Kitton (オビケイソウ)、季節変動

## 背景と目的

大陸の緩やかな大河川 (Reynolds et al., 1994; Wehr and Descy, 1998; Desortova and Puncochar, 2011; Descy et al., 2012) や緩流域となる日本の河川下流部 (Murakami et al., 1992; 西條・村上, 1993; Murakami et al., 1994; Murakami et al., 1998; 村上・西條, 1999; Fukuda et al., 2015) では、浮遊藻が発生し、その現存量と種組成は河川水の滞留時間や濁りによる水中光の減衰といった物理環境に影響されている。これら先行研究で報告された優占種は、中心珪藻 (centric diatom) の *Cyclotella* 属、*Stephanodiscus* 属 (Murakami et al., 1992; Murakami et al., 1994; Reynolds et al., 1994; Murakami et al., 1998; 村上・西條, 1999; Desortova and Puncochar, 2011)、小型の緑藻 (Reynolds et al., 1994; Descy et al., 2012)、シアノバクテリアの *Anabaena*

属、*Microcystis* 属、*Pseudanabaena* 属 (Fukuda et al., 2015) であった。

一方、野崎 (2003) は、2002年12月～2003年2月にかけて、矢作川中流 (河口から43 km 地点) の河川水中に、羽状珪藻 (pennate diatom) の *Asterionella formosa* Hassall (ホシガタケイソウ) が2000～3000 cells mL<sup>-1</sup> の密度で存在していることを報告した。この地点は、表面流速が50～100 cm sec<sup>-1</sup> であり (日本陸水学会東海支部会, 2014, p. 35 図2.4)、これまで河川性の浮遊藻が研究されてきた緩流域ではない。本種は、温帯域の湖沼や貯水池で春期に増殖する代表的な止水性の浮遊珪藻であり、湖水中の栄養塩濃度、特に珪酸の挙動と関連付けて研究されてきた (Lund, 1949; Lund, 1950; 斉藤, 1978; Miyajima et al., 1995)。Murakami et al. (1994) は、1992年の冬期に天竜川で河川水中に *Stephanodiscus* spp. と *A. formosa* が優占していることを

報告しているが、その起源は水源である諏訪湖からの流出としている。矢作川中流域の*A. formosa*も天竜川と同じく、調査地点の上流部に設置されたダム湖群からの流出と考えられるが、実態は明らかになっていない。児玉ほか(2006)は、2002年11月から2003年5月にかけて、野崎(2003)の調査地点より、およそ10 km下流の明治用水頭首工の貯水池で*A. formosa*が浮遊藻全体の58～98%を占める優占種であったことを明らかにしているが、この地点は、ほぼ止水域であり、*A. formosa*の増殖は不思議なことではない。

日本では、単発的な調査(相沢・青木, 1985; Murakami et al., 1994)以外に、緩流域ではない河川において浮遊藻の細胞数を季節的に記録した事例が少なく、1998年の6月から11月にかけて、天竜川上流域で諏訪湖から流出する*Microcystis*属の群体数を調べた片上ほか(2003)に限られている。したがって、矢作川中流域において河川水中の浮遊藻を調査することは、日本の河川の1つの現状を明らかにする良い事例になると考え、本研究を実施した。

## 方 法

### 調査地

本研究は、長さ117 kmの矢作川の河口から42 km上流の中流域で行った。調査地点は、北緯35度06分48秒、東経137度11分33秒の豊田市扶桑町である。矢作川には、最上流の矢作ダムから、矢作第二、笹戸、百月、阿摺、越戸、明治用水頭首工の7つのダムが連続しており、調査地点は、矢作ダム堰堤からおよそ38 km、6つ目の中部電力の越戸ダム堰堤から2 km、越戸水力発電所の放水口から1.3 km下流に位置している。

### 現地調査

2005年1月25日から2007年12月14日までの間に、109回の現地調査を行った。調査は、原則として9時30分～11時の間に行った。浮遊藻の細胞数、クロロフィルa量、濁度を分析するための試水は、流心部の表面で採水し、10 Lのポリタンクに入れて持ち帰った。水温は、採水地点の表層でアルコール棒温度計を用いて測定した。

### 水の分析

浮遊藻の細胞数は、試水250 mLにホルムアルデヒド液3 mLを加え静置し、沈降物を巻き上げないようにサイフォンやピペットで上澄みを除き、 $12 \pm 3$  mL(平均±標準偏差)まで濃縮した試料を用いて分析を行った。細胞の計数は、光学顕微鏡(オリンパス, BX 51)400倍下で、日本陸水学会東海支部会(2014, p.132-134)の手順に従い、1 mm×1 mmのます目が印刷された計数盤(松波硝子工業, S6118, 格子線, 枠なし)を用いて行った。調査期間中に、顕著な増加を示した羽状珪藻*Asterionella formosa* Hassall(ホシガタケイソウ, 図1A), *Fragilaria crotonensis* Kitton(オビケイソウ, 図1B)については、細胞質が含まれているものを生細胞(Live cell)、含まれていないものを空細胞(Empty cell)に区分して計数した。なお、*Asterionella*属は分類の見直しが提案されているが(Pappas and Stoermer, 2001)、結論は出ていないため、本研究では*Asterionella formosa* Hassallを使用する。

クロロフィルaは、試水1000～4000 mLをガラス繊維ろ紙(東洋濾紙, Advantec, GF-75)でろ過し、ろ紙

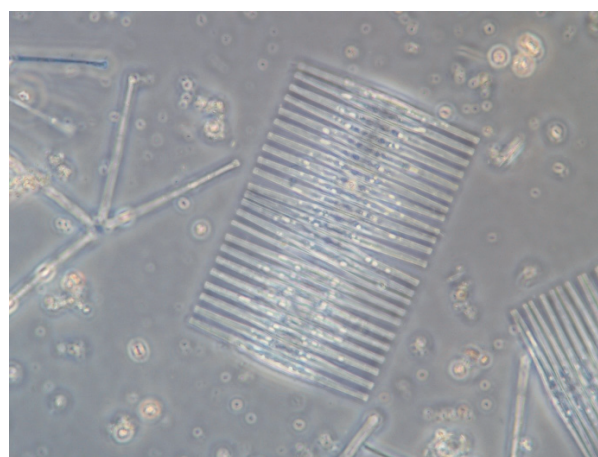


図1 A 羽状珪藻*Asterionella formosa* Hassall(生試料, 2005年5月11日採集)と1 B. *Fragilaria crotonensis* Kitton(生試料, 2007年5月9日採集)の位相差顕微鏡写真(×400倍)。

Fig. 1. Phase-contrast microscopic photographs (×400) of two pennate diatoms *Asterionella formosa* Hassall collected in May 11, 2005 (1A) and *Fragilaria crotonensis* Kitton in May 9, 2007 (1B) using fresh samples.

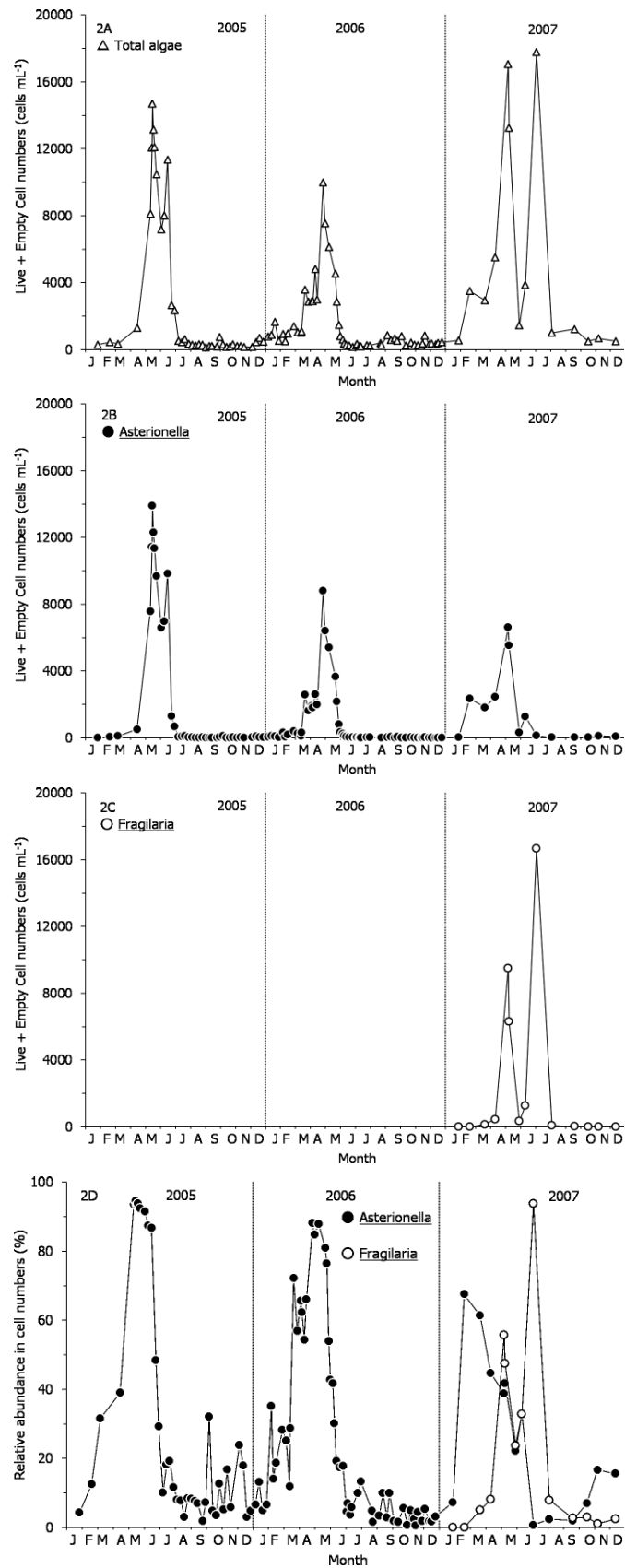


図2 矢作川中流域における河川水中の浮遊藻細胞数 (2A~C) および全浮遊藻に占める*Asterionella formosa*と*Fragilaria crotonensis*の割合 (2D) の季節変動 (2005年1月~2007年12月)。図中の△は全浮遊藻, ●は*Asterionella formosa*, ○は*Fragilaria crotonensis*をそれぞれ示している。

Fig. 2. Seasonal changes of planktonic algal cells (2A-C) and relative abundance of *Asterionella formosa* and *Fragilaria crotonensis* (2D) in the middle reach of the Yahagigawa River from January 2005 to December 2007. Symbols show that △Total planktonic algae, ●*Asterionella formosa* and ○*Fragilaria crotonensis*, respectively.

上に捕集した懸濁物質を用いて、日本陸水学会東海支部会 (2014, p.134-136) の手順に従い 90 %アセトンで抽出しLorenzenの方法で定量した。

ダム湖 (貯水池) では、浮遊珪藻の細胞密度が 1000 cells mL<sup>-1</sup> に達すると湖水の着濁現象が観察される (野崎ほか, 1992)。そこで、浮遊藻の濁りへの寄与を検討するために、濁度を測定した。濁度の測定には、濁色度計 (日本電色工業, WA 1) を用いた。この濁色度計の測定単位は度であるが、これは標準物質 (カオリン等) を 1 mg L<sup>-1</sup> の濃度で懸濁させた時の濁度を 1 度としているので、本研究では 1 度を 1 mg L<sup>-1</sup> で示す。

### 公的資料の利用

調査期間中の気象情報は、「気象庁：過去の気象データ検索」、矢作ダム貯水池の水質情報は、愛知県による「あいちの環境：公共用水域の水質調査結果」から、それぞれ入手した。

## 結 果

浮遊藻の細胞数の季節変動は、図 2A~D に示した。10000 ~ 15000 cells mL<sup>-1</sup> に達する顕著な増加は、2005 年には 5 月 ~ 6 月、2006 年には、4 月 ~ 5 月、

2007 年には 4 月 ~ 5 月と 7 月に見られた。これらの増加は、2005 年と 2006 年は、*A. formosa*, 2007 年は 4 月 ~ 5 月の増加は *A. formosa* と *F. crotonensis*, 7 月の増加は *F. crotonensis* によって形成されていた。図 3 に生細胞 (Live cell) と空細胞 (Empty cell) との関係を示す。細胞数が 1000 cells mL<sup>-1</sup> 以上では、空細胞の割合は 10 % 以下、4000 cells mL<sup>-1</sup> 以上では、殆どが 5 % 以下であり、細胞数が増加した時期には、*A. formosa* と *F. crotonensis* の 90 ~ 95 % が生細胞であり、生きている状態で浮遊していることがわかった。

図 4 は、調査地点 (4A) および流域で最も大きな矢作ダム貯水池表面水 (4B) のクロロフィル a 量の季節変動である。調査地点のクロロフィル a 量は、図 2A~C に示した細胞数の季節変動とほぼ一致していた。最大値は、2005 年が 5 月 12 日の 15 μg Chl. a L<sup>-1</sup>, 2006 年が 4 月 28 日の 7 μg Chl. a L<sup>-1</sup>, 2007 年が 5 月 9 日と 7 月 6 日の 14 μg Chl. a L<sup>-1</sup> であった。矢作ダム貯水池では、4 月 ~ 5 月に増加し、これは調査地点の増加とほぼ同調していた。その他は、*F. crotonensis* が単独で優占種となった 2017 年 7 月以外は、調査地点の季節変動とは明瞭な対応は見られなかった。クロロフィル a 量は、矢作ダム貯水池の値が調査地点の値より高い傾向にあるが、

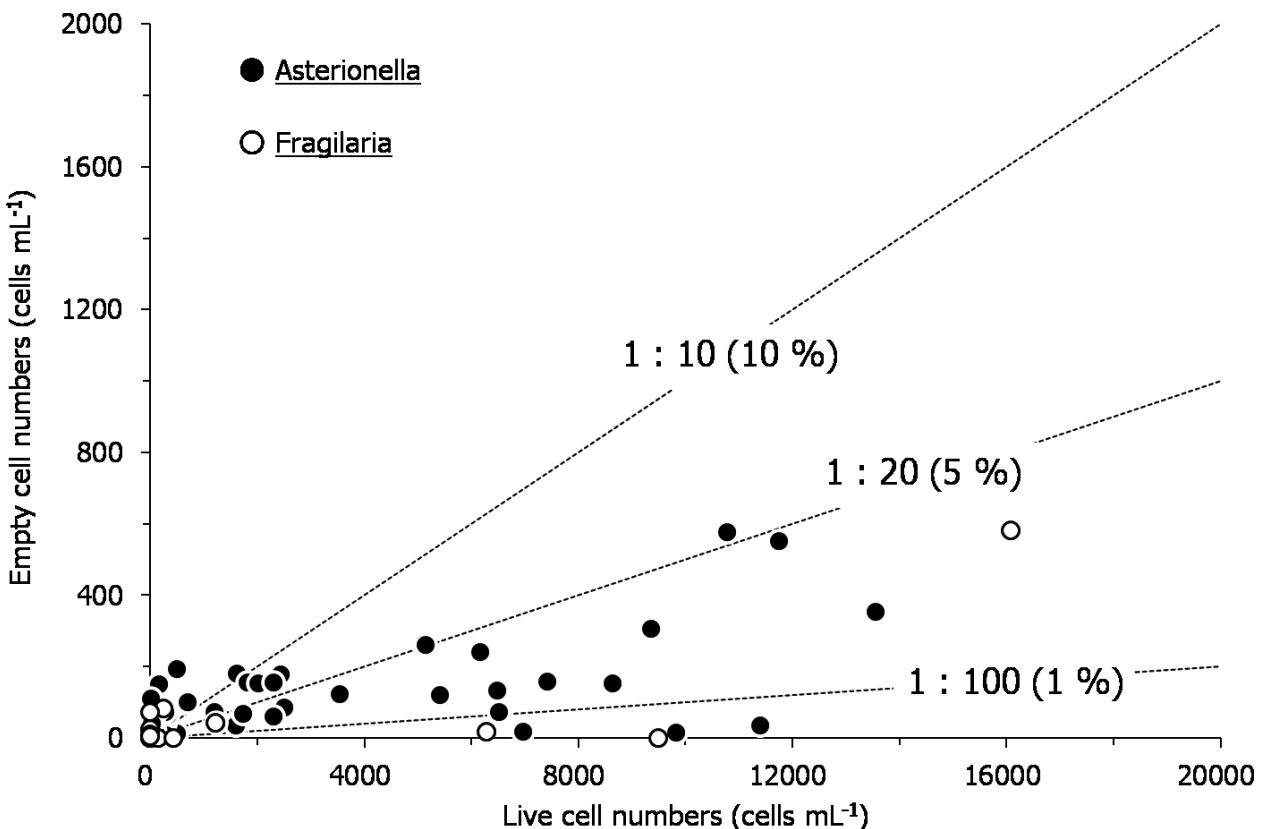


図 3 *A. formosa* (●) と *F. crotonensis* (○) の生細胞と空細胞との関係。各点線は、空細胞の割合を示している。  
Fig. 3. Relationships between live cells and empty cells of *A. Formosa* (●) and *F. crotonensis* (○). Dotted lines show the ratios of empty cells.

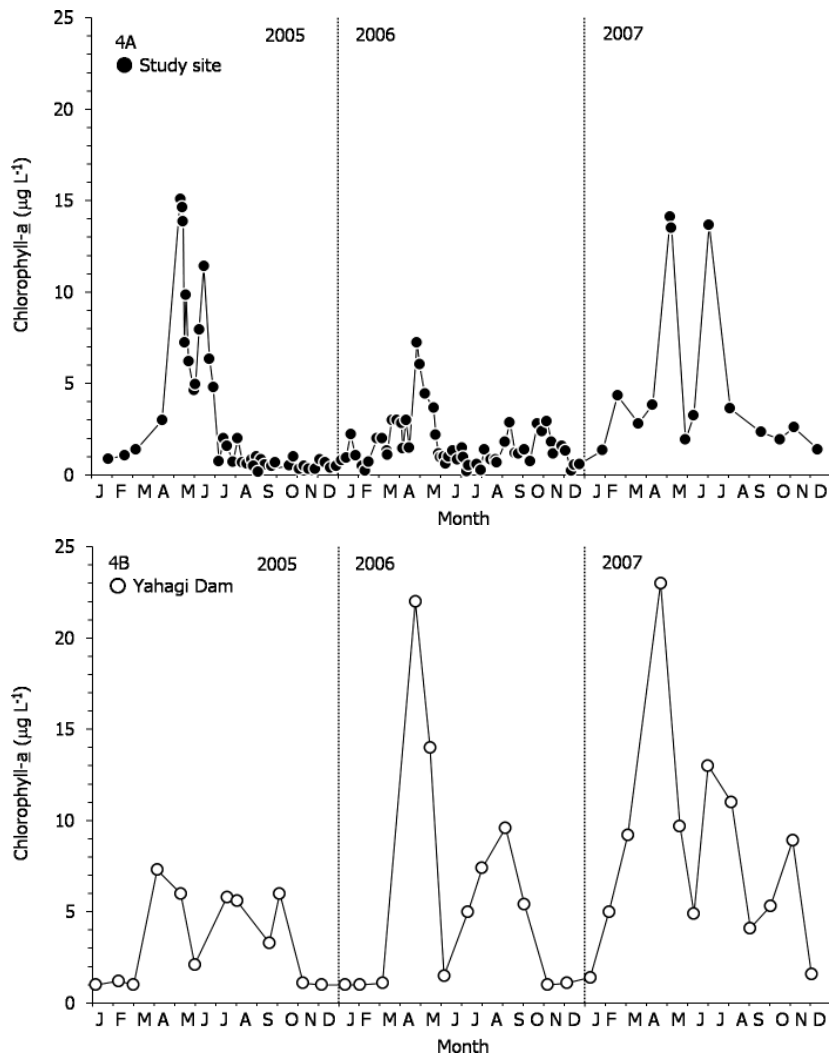


図4 調査地点(4A●)および矢作ダム貯水池表層(4B○)におけるクロロフィルa量の季節変動。矢作ダム貯水池の資料は、愛知県「あいちの環境」web siteより取得した (<http://kankyojoho.pref.aichi.jp/Mizu/Koukyou/Jouken.aspx>)。 Fig. 4. Seasonal changes of chlorophyll-a amounts at this study site (● 4A) and surface water of the Yahagi Dam reservoir (○ 4B). Data of the Yahagi Dam reservoir was taken from the web site of the Aichi Prefecture (<http://kankyojoho.pref.aichi.jp/Mizu/Koukyou/Jouken.aspx>).

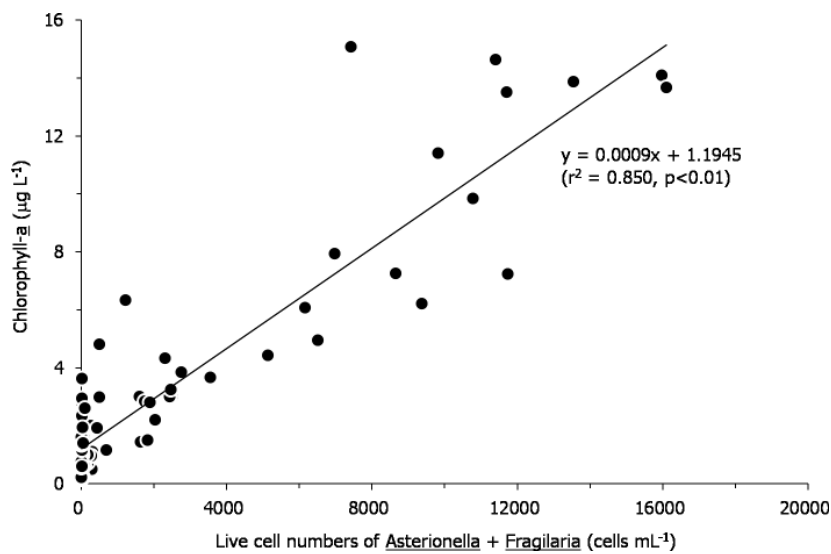


図5 *A. formosa*と*F. crotonensis*の生細胞数と調査地点のクロロフィルa量との関係。 Fig. 5. Relationship between live cells of *A. formosa* and *F. crotonensis* and chlorophyll-a amounts at this study site.

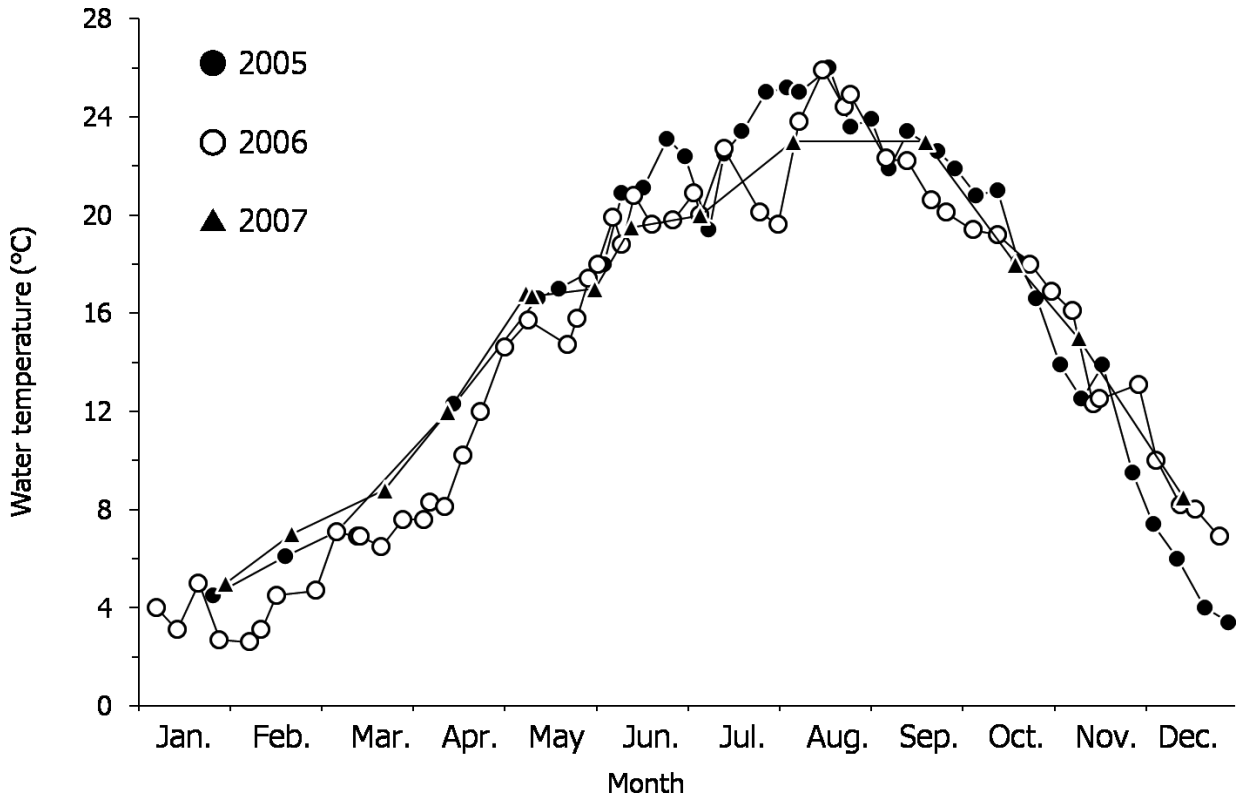


図6 9時30分～11時の間に測定された調査地点の水温の季節変化。  
 Fig. 6. Seasonal changes of water temperature in this study site measured at 9:30-11:00.

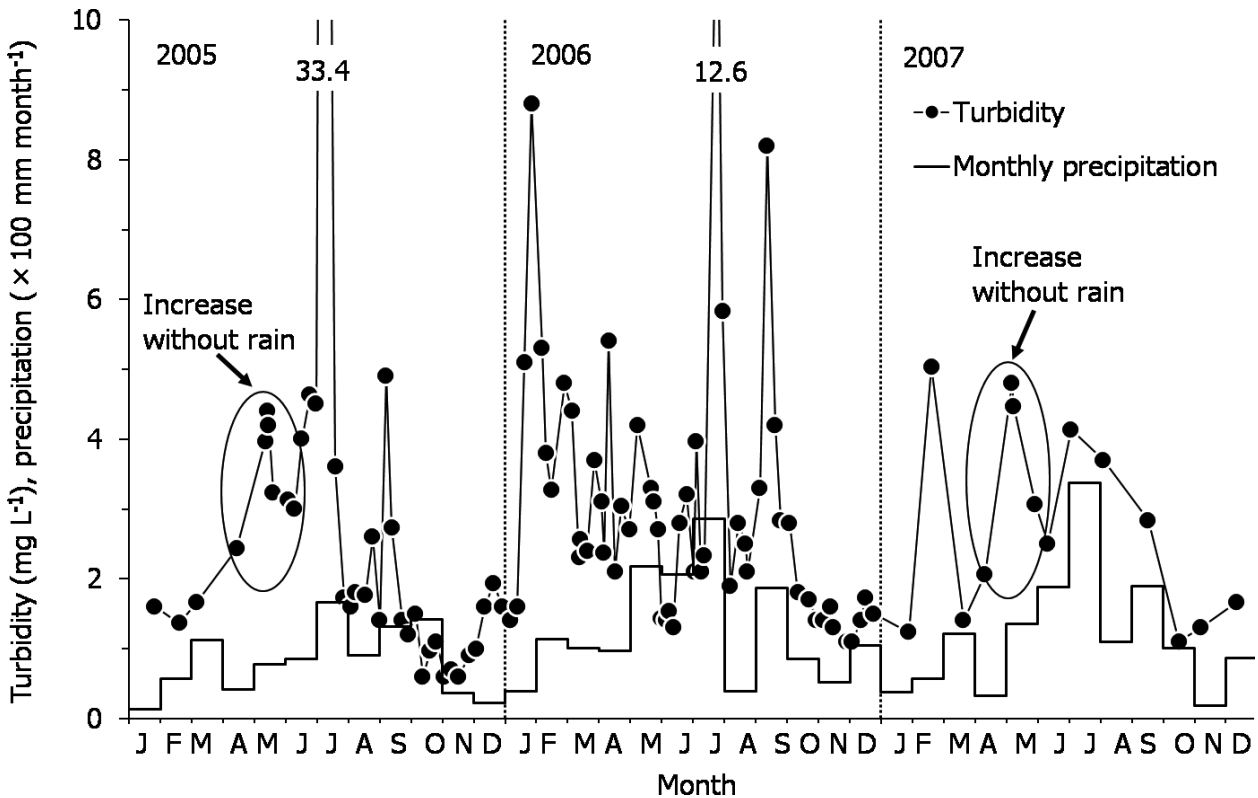


図7 調査地点の濁度と豊田市の月降水量の季節変動。降水量の資料は、気象庁web siteより取得した (<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)。2005年と2007年の4月～5月には、降水量が少ないにもかかわらず濁度の上昇が見られた。  
 Fig. 7. Seasonal changes of turbidity at this study site and monthly precipitation of the Toyota City. Data of precipitation was taken from the web site of the Japan Meteorological Agency (<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>). Increases of turbidity without rainfall were observed in April to May 2005 and 2007.

2005年4月～6月は、調査地点の値が、矢作ダム貯水池の値を上回っていた。

*A. formosa*と*F. crotonensis*の生細胞数とクロロフィルa濃度との関係は図5に示した。両者の関係には、有意な相関関係が見られ ( $r^2 = 0.850$ )、この2種類の珪藻の増減が、河川水中のクロロフィルa量に大きな影響を与えていることがわかった。なお、回帰直線のy切片から、*A. formosa*と*F. crotonensis*以外の要因によるクロロフィルa量は、 $1.2 \mu\text{g Chl. a L}^{-1}$ 程度であることがわかった。

図6には、酵素反応を通じて、藻類の光合成と呼吸に大きな影響を及ぼす水温の季節変化を示した。夏から冬に向かって、水温が下降する時期は、3年間ともに同様の傾向であったが、冬から夏に向かって水温が上昇していく時期は、年ごとに違いが見られた。2006年の水温は、1月～5月にかけて、2005年、2007年より明らかに低く、2005年の夏期は他の年に比べて高く、2007年の夏期は低い傾向にあった。ただし、2007年は、2005年、2006年に比べて調査回数が少なく、季節変化を正しく把握できていない可能性がある。

図7は、濁度と豊田市の月降水量の季節変化である。濁度は、降水量が多く、河川が増水した時に上昇するのが一般的であるが、2005年4月～5月に明瞭に、2007年4月～5月にやや明瞭に、降水量が少なくても濁度が上昇する現象が見られた。この時期は、*A. formosa*, *F. crotonensis*の細胞数が増加した時期と一致している。

## 考 察

### *A. formosa*と*F. crotonensis*細胞数の季節変動と年変動

藻類の現存量は、光合成と呼吸による成長と捕食や流出による消失の結果で決まるが、河川の浮遊藻は、流量の増減による流出や希釈効果によって、その現存量が大きな影響を受ける (Murakami et al., 1994; Reynolds et al., 1994; Desortova and Puncochar, 2011)。そこで、図8A～Cに、成長を律速する要因である光、水温および栄養塩の供給、そして現存量の流出・希釈の要因である流量に影響する降水量と*A. formosa*, *F. crotonensis*細胞数の季節変動を、2005年 (図8A)、2006年 (図8B)、2007年 (図8C) の1月～8月に限って示した。1月～8月に限ったのは、この期間に毎年、*A. formosa*, *F. crotonensis*細胞数の増減が見られるからである。

3年間の変動を比較してみると、2006年は、2005年、2007年と比較して、1月～5月に降水量が多く、*A. formosa*細胞数の増加が小規模であった。浮遊珪藻の最

初の増殖が生じる1月～5月の積算降水量は、2006年が569 mmとなり、2005年の300 mm、2007年の384 mmに比べ、それぞれ、50%、30%の増加になっている。特に2月の月降水量は、2005年と2007年の57 mmに対して、2006年は114 mmも降り、2倍近く多かった。したがって、流量の増加により、*A. formosa*が流出した可能性が示唆される。Lund (1950) は、英国湖水地方の湖Esthwaite waterで1945年から1949年にかけて*A. formosa*個体群の季節変動を調べ、1945年～1948年は、毎年4月に細胞数が $10^3 \sim 10^4 \text{ cells mL}^{-1}$ に達していたが、1949年のみ4月に $10^2 \text{ cells mL}^{-1}$ へと大きく減少した原因の1つとして2回の洪水を挙げている。斉藤 (1978) は、相模貯水池で1974年から1977年にかけて浮遊藻の細胞数の季節変動を調べ、*A. formosa*は、毎年、冬期から春期に増殖するが、その細胞数は最大で $10^2 \text{ cells mL}^{-1}$ に留まり、春期に $10^3 \sim 10^4 \text{ cells mL}^{-1}$ に達する自然湖沼とは異なる傾向にあることを報告した。この原因は、冬期から春期には、流入河川の水温が、貯水池より高いため、表層に流入し、浮遊藻を含んだ表層水を押し流しているためと考察されている。羽状珪藻である*A. formosa*, *F. crotonensis*は、中心珪藻の*Aulacoseira*属、*Cyclotella*属、*Stephanodiscus*属に比べて、表面積/容積 (area/volume) が大きく (小島, 1960)、殻の珪素含量が少ない (Reynolds, 1984, p. 304 Table 29; Miyajima et al., 1995)。つまり両種は、一般的な中心珪藻の浮遊性種に比べ、体積の割には軽く、沈降しにくくなり、表層部に留まりやすくなる。そのため、湖沼や貯水池の表層に流入水が増えると、急激に流出することになる。2006年に*A. formosa*細胞数の増加が小さくなった理由も、降水による流量の増加で流出したことによると考えられる。

2005年と2007年は、いずれも細胞数の最大が、 $15000 \text{ cells mL}^{-1}$ に達していたが、2005年は*A. formosa*のみであったのに対し、2007年は、4月～5月が*A. formosa*と*F. crotonensis*、7月は、*F. crotonensis*のみで形成された。この仕組みについては、本研究で説明することは困難であるため、文献情報を含め、今後のための記録に留めておきたい。Lund (1950)、斉藤 (1978) の結果では、*F. crotonensis*は、*A. formosa*より高温期に増殖し、その細胞数が最大になるのは、Lund (1950) では6月、斉藤 (1978) では6月～7月であり、本研究で得られた2007年の結果は、これら先行研究と同じ傾向であった。2005年と2007年の気象の違いは、2005年は、4月以降、6月後半～7月前半を除き、降水量が

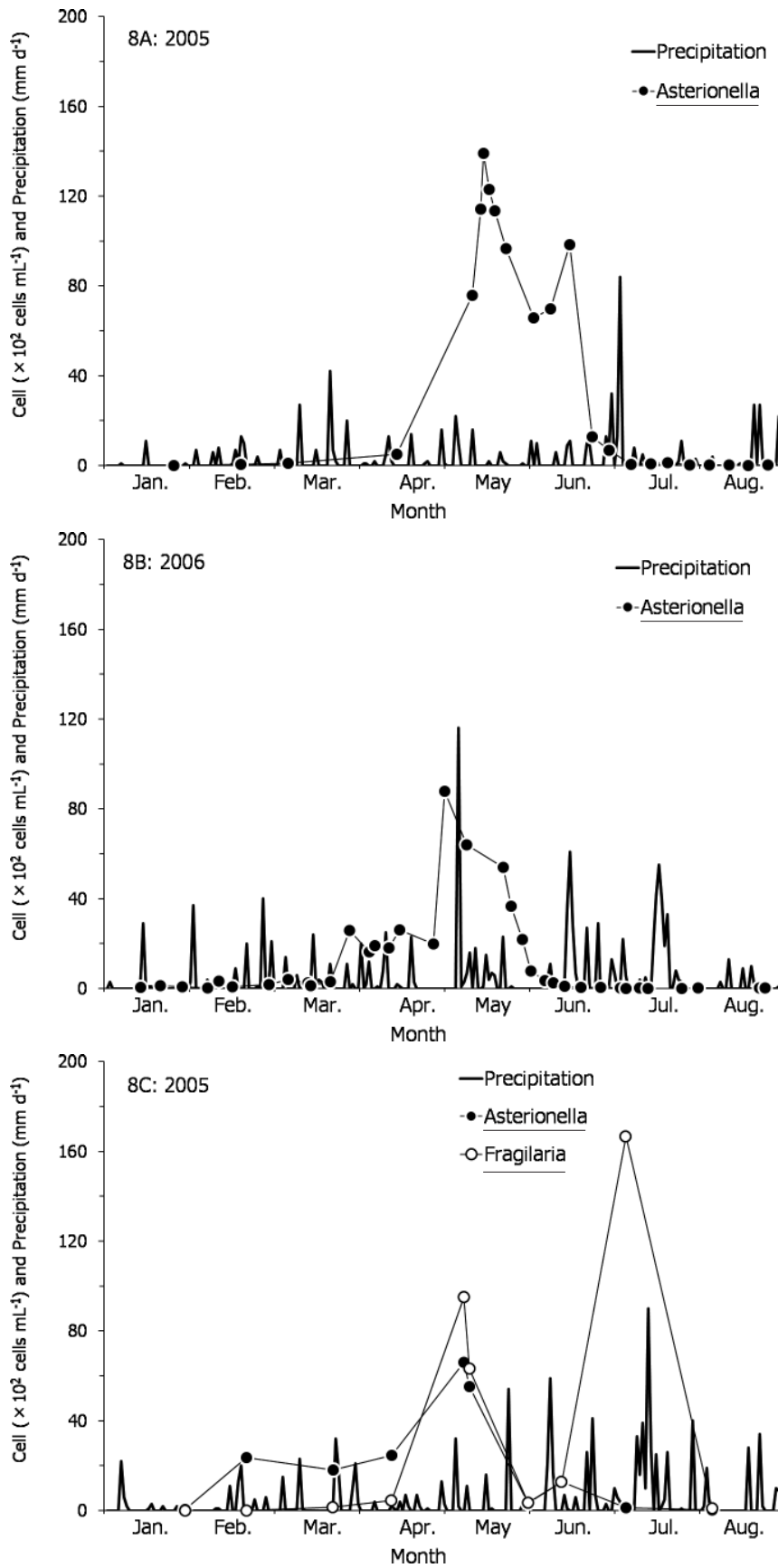


図8 2005年(8A), 2006年(8B) および2007年(8C)の1月～8月における *A. formosa* と *F. crotonensis* の細胞数と豊田市の日降水量の変動. 降水量の資料は, 気象庁web siteより取得した (<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>).

Fig. 8. Seasonal changes of cell numbers of *A. formosa* and *F. crotonensis* and daily precipitation at the Toyota City in 2005 (8A), 2006 (8B) and 2007 (8C), respectively. Data of precipitation was taken from the web site of the Japan Meteorological Agency (<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>).



少ないことである。梅雨期である6月と7月の積算降水量は、2007年の525 mmに対し、2005年は251 mmと半分以下であった。降水は、湖沼や貯水池に栄養塩を供給し、浮遊藻の急激な増殖を導くことが知られている (Tezuka, 1985; 野崎ほか, 1992; Nakano et al., 1996)。 *F. crotonensis* が2005年に増殖しなかった理由として、2005年は雨が少なく、*F. crotonensis* の成長に適した6月～7月には栄養塩類が律速要因になっていた可能性が考えられる。

#### 連続する貯水池群による*A. formosa*と*F. crotonensis*の増殖の可能性

Reynolds (1988) は、河川に出現する浮遊藻を、河床に生育する底生藻が剥離して懸濁したbenthic algae, 湖沼、貯水池から流入してきたlimnoplankton, 河川で増殖するpotamoplankton (true river phytoplankton) の3つに大別した。福島 (1971) は、日本の河川水中に見られる浮遊藻を、上記のbenthic algaeとlimnoplanktonの総称として、流下藻類 (drift algae) としている。67河川の研究成果をまとめたRojo et al. (1994) の総説によれば、河川水中で増殖し水の華 (blooming) を形成するpotamoplanktonは、温帯域では*Aulacoseira*属, *Cyclotella*属, *Stephanodiscus*属の中心珪藻である。日本でも村上哲生の唯一とあって良い研究から、potamoplanktonは、*Cyclotella meneghiniana* Kützingが主であると判明している (Murakami et al., 1992; Murakami et al., 1994)。河川水中で見られる羽状珪藻の*Asterionella*属, *Fragilaria*属, *Synedra*属は、湖沼や貯水池から流入したlimnoplanktonとされている (相沢・青木, 1985; Reynolds, 1988; Murakami et al., 1992; Murakami et al., 1994)。したがって、本研究で増減が観察された*A. formosa*と*F. crotonensis*も調査地点の上流に設置されたダム貯水池から流下したものと考えられる。

ただし、検討を要するのは、貯水池から流出し、limnoplanktonとなった浮遊珪藻が、流下しながら増殖しているのか否かである。相沢・青木 (1985) は、相模川に設置された貯水池である津久井湖から流出した浮遊珪藻*Synedra acus* Kützingと*A. formosa*の流下に伴う細胞数の変化を1984年3月21日, 4月25日に調べ、20 km下流では、70～90%に減少することを見出した。Murakami et al. (1994) は、諏訪湖から天竜川に流下した浮遊珪藻*A. formosa*と*Stephanodiscus* spp.の行方をクロロフィルa量の変化から調べ、流出直後は95  $\mu\text{g}$

Chl. a  $\text{L}^{-1}$ であったが、30 kmで40  $\mu\text{g}$  Chl. a  $\text{L}^{-1}$ と半減し、80 kmで10  $\mu\text{g}$  Chl. a  $\text{L}^{-1}$ と9割近く減少したことを報告した。片上ほか (2003) は、諏訪湖から天竜川に流出したシアノバクテリア*Microcystis*細胞数の変化を調べ、32 km下流で40～90%減少することを示した。これらの結果から、limnoplanktonは、止水域から流出後、増殖することなく速やかに減衰することがわかる。

本調査地では、矢作ダム貯水池のクロロフィルa量が、大部分の期間で38 km下流の調査地点での値を上回っており (図4)、貯水池から流出した浮遊藻は、先行研究と同様に、流下の過程で増殖することはなかった。しかしながら、調査期間を通じて、*A. formosa*の細胞数が最も顕著に増加した2005年4月～6月は、調査地点のクロロフィルa量が、矢作ダム貯水池の値を2倍程度上回っていた。この期間の*A. formosa*の細胞は、95%以上が生細胞で占められ (図3)、高い活性を維持したまま流下していたと判断される。2005年は、2006年、2007年に比べて、顕著に降水量が少なかった (図8A～C)。渇水は、流量の低下を引き起こし、止水域における滞留時間の増加とともに、河川水による浮遊藻の流出や希釈効果を減衰させ、細胞数の増加を導くことが考えられる。この検証には、詳細な流程分布の調査が必要となるが、調査地点の上流域には、6つの貯水池によって止水域が連続しており、渇水の時期には、矢作ダム貯水池より流下した*A. formosa*が増殖する可能性は高い。

Kohler (1994) は、ドイツのElbe川支流のSpree川中～下流域で、1988年から1990年、および1992年に河川水中の浮遊藻の細胞数の流程分布とその季節変動を調べた。この河川は、平均流速が50～60  $\text{cm s}^{-1}$ と急流であるが、およそ200 kmの調査区間に6つの浅い湖沼を含んでいる。浮遊藻の現存量は、概ね下流に向かって増加する傾向にあり、連続する浅い湖沼が浮遊藻の増殖の場となっていた。児玉ほか (2006) は、2003年5月14日に、矢作川において、笹戸ダム下流、阿摺ダム下流、越戸ダム下流、明治用水頭首工貯水池、河口から12 kmの下流の5地点で、浮遊珪藻 (主に*A. formosa*) の細胞数とクロロフィルa量の流程分布を調べた。笹戸ダム下流では珪藻が $2 \times 10^3 \text{ cells mL}^{-1}$ 、クロロフィルa量が1  $\mu\text{g}$  Chl. a  $\text{L}^{-1}$ であったが、阿摺ダム直下では $5 \times 10^3 \text{ cells mL}^{-1}$ 、7  $\mu\text{g}$  Chl. a  $\text{L}^{-1}$ に急増し、その後、浮遊珪藻は、越戸ダム下流で $6 \times 10^3 \text{ cells mL}^{-1}$ 、クロロフィルa量は、明治用水頭首工貯水池で8  $\mu\text{g}$  Chl. a  $\text{L}^{-1}$ で最大になっており、連続する貯水池で浮遊珪藻が

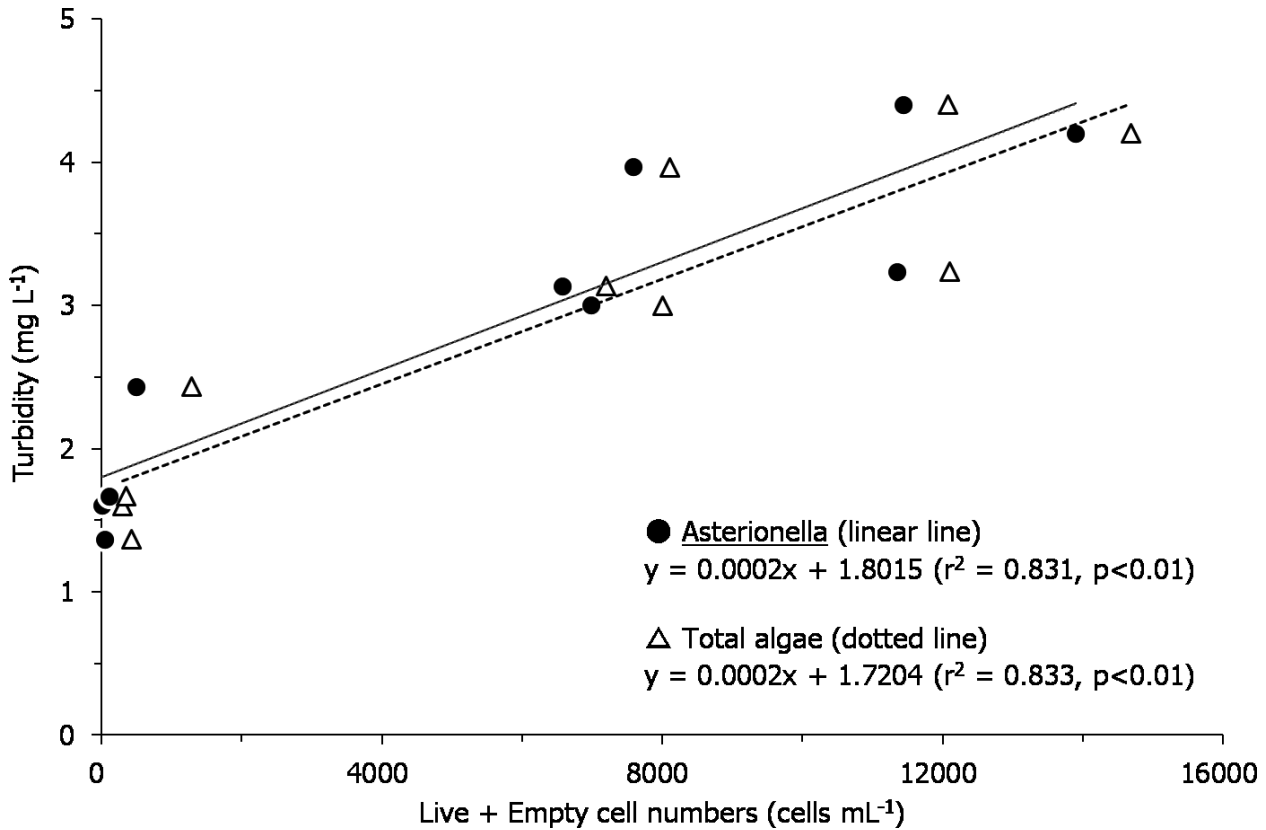


図9 2005年1月25日～6月9日の調査地点における河川水中の*A. formosa* (●)および全浮遊藻(△)の細胞数と濁度との関係。

Fig. 9. Relationships between cell numbers of *A. formosa* (●) and total planktonic algae (△) and turbidity at this study site in January 25 to June 9, 2005.

増殖している可能性について言及した。したがって、矢作川上流～中流域に連続する貯水池は、浮遊珪藻の増殖の場と成り得ること、そしてそれは濁水の時期により明確に表れることが強く示唆される。

#### 浮遊珪藻の増加と濁度との関係

矢作川は、かつて陶土鉱山の排水によって、1970年代中旬まで懸濁物質質量(SS: suspended solid)が $100 \text{ mg L}^{-1}$ に達する著しい白濁状態が生じていた。この白濁は、粘り強い住民運動の結果、解消されたが、矢作川は白濁以前の清澄な水には戻らず、常に薄い濁りが継続しているという指摘がなされている(田中, 2003)。中西(2006)は、この薄い濁りの原因として貯水池から流出している浮遊珪藻が一因であるという野崎(2003)、それを引用した田中(2003)の仮説を検証するために、*A. formosa*の細胞数と濁度との関係を調べた。その結果、細胞数と濁度との間に、 $y = 0.0003x - 0.359$  ( $r^2 = 0.972$ )の関係式を得た。この関係式から予想される濁度の最大値は、 $13200 \text{ cells mL}^{-1}$ の時に $3.6 \text{ mg L}^{-1}$ となり、一般に濁水が $10 \text{ mg L}^{-1}$ 以上とされていること、矢作川で*A. formosa*の細胞数が $10^4 \text{ cells mL}^{-1}$ になるこ

とは稀であること、理由に濁度に与える影響は少ないと結論している。そこで、本研究の結果を用いて再度の検討を行った。本研究は野外の実測値を用いるため、濁水で降雨の影響が少なく、*A. formosa*が濁度の主要因になると考えられる2005年1月から、その年の梅雨入り前の6月9日までの10回の測定結果で検討した。

図9は、*A. formosa*および全藻類の細胞数と濁度との関係である。*A. formosa*と全藻類は、ほぼ同じ結果であるので、ここでは*A. formosa*の結果を用いる。一次回帰式は、 $y = 0.0002x + 1.8015$  ( $r^2 = 0.831$ )であった。一次回帰式のy切片から、この期間の*A. formosa*によらない濁度は、 $1.8 \text{ mg L}^{-1}$ と推定される。現場での細胞数の最大は、 $14000 \text{ cells mL}^{-1}$ であったため、この期間の*A. formosa*による濁度の最大値は、 $2.8 \text{ mg L}^{-1}$ と推定される。この値は、中西(2006)の値より小さく、濁水の基準を $10 \text{ mg L}^{-1}$ とすれば、その寄与は小さいと言える。しかしながら、 $10 \text{ mg L}^{-1}$ という濁水は、かなり強い濁りであり、矢作川で問題となっている薄い濁りからは、やや現実にそぐわない値と思われる。

野崎(2018)は、矢作川中流域に流入する籠川上流部で、本調査地とは $10 \text{ km}$ 程度の距離にある地点の濁

度が、ほぼ1年を通じて $0.5 \text{ mg L}^{-1}$ 以下であることを報告している。水道水の濁度の基準は2度 ( $2 \text{ mg L}^{-1}$ )であり、藻類が水道水に流出して1度を超えると、着濁障害とされ、洗面所や風呂に水を溜めた状態では肉眼で着濁を感じることができる(小島, 1985; 斉藤, 1993)。したがって、清澄な水とは、濁度が $1 \text{ mg L}^{-1}$ 以下の水であり、 $2 \sim 3 \text{ mg L}^{-1}$ 程度に達すれば、河川の水深がある部分では、着濁、すなわち濁りが実感できると考えられる。2005年5月は、*A. formosa*の細胞数が2週間に渡って $10000 \text{ cells mL}^{-1}$ を超えており、すなわち、*A. formosa*に起因する濁度は $2 \sim 3 \text{ mg L}^{-1}$ となり、それに*A. formosa*以外の要因による $1.8 \text{ mg L}^{-1}$ が加われば、降雨による出水が無くても $4 \sim 5 \text{ mg L}^{-1}$ 程度の濁度が継続することになる。これは軽微な影響とは言えないであろう。なお、神奈川県の水道で生じた微小緑藻 (*Dictyosphaerium* sp.) による着濁障害では、着濁が1カ月続き、濁度と微小緑藻細胞数との関係は、 $y = 48432x + 5360$  ( $n = 76$ ,  $r^2 = 0.80$ )であった。つまり、濁度1度が $48000 \text{ cells mL}^{-1}$ に相当していた(斉藤, 1993)。一方、大型の羽状珪藻 *A. formosa* で同様の関係を求めると、 $y = 4428x - 6990$  ( $n = 10$ ,  $r^2 = 0.83$ )となり、濁度1度は、 $4400 \text{ cells mL}^{-1}$ に相当した。

## 謝 辞

現場観測を手伝って下さった野崎妙子氏に感謝いたします。本研究のとりまとめにあたり、科学研究費補助金基盤研究C (18K02944 研究代表者、野崎健太郎) の支援を受けた。

## Summary

Seasonal changes of planktonic algal cell numbers in the middle reach of the Yahagigawa River were investigated from January 2005 to December 2007. Dominant species were two pinnate diatoms *Asterionella formosa* Hassall and *Fragilaria crotonensis* Kitton. The remarkable increasing of planktonic algae reaching 10000 to 15000 cells  $\text{mL}^{-1}$  was observed from May to June in 2005, April to May in 2006, April to May and July in 2007. These increases were due to *A. formosa* in 2005 and 2006, *A. formosa* and *F. crotonensis* from April to May and *F. crotonensis* in July. From the relationship between live cells and empty cells of *A. formosa* and *F. crotonensis*, the proportion of empty cells

is 10 % or less when the number of cells is 1000 cells  $\text{mL}^{-1}$  or more, and at 4000 cells  $\text{mL}^{-1}$  or more. Most of them were less than 5 % and when the number of cells increased, it was found that 90 to 95 % of *A. formosa* and *F. crotonensis* were living in river water. The chlorophyll *a* amount at the study site almost agrees with the seasonal fluctuation of the number of cells of the planktonic algae. The relationship between the number of live cells of *A. formosa* and *F. crotonensis* and the chlorophyll *a* amount was shown in significant correlation ( $r^2 = 0.850$ ). Therefore, the rise and fall of their two planktonic diatoms affected the amount of chlorophyll *a* in river water. The appearance of *A. formosa* and *F. crotonensis* varied from year to year, and it seemed that the difference in precipitation affected the yearly variation. *A. formosa* was defined as a limnoplankton originating from the reservoir, but in the drought period it was shown the possibility of propagation while flowing down. In May 2005, the number of cells of *A. formosa* exceeded 10000 cells  $\text{mL}^{-1}$  over approximately 2 weeks, and the turbidity due to *A. formosa* during this period was estimated to be 2-3  $\text{mg L}^{-1}$ . When 1.8  $\text{mg L}^{-1}$  was added due to other factors, turbidity of about 4 to 5  $\text{mg L}^{-1}$  was continued even though there was no water discharge due to rainfall.

Key words: Japanese river, planktonic diatom, *Asterionella formosa* Hassall, *Fragilaria crotonensis* Kitton, seasonal change

## 引用文献

- 相沢靖・青木節男 (1985) 水源における浮遊性珪藻の発生と浄水場ろ過池閉塞. 用水と廃水, 27: 1234-1241.
- Descy, J.-P., Leitao, M., Everbecq, E., Smits, J. S. and J.-F. Deliege (2012) Phytoplankton of the River Loire, France: a biodiversity and modeling study. Journal of Plankton Research, 34: 120-135.
- Desortova, B. and P. Puncochar (2011) Variability of phytoplankton biomass in a lowland river: Response to climate conditions. Limnologia, 41: 160-166.
- Fukuda, T., Nozaki, K. and Y. Yamada (2015) Contribution of phytoplankton to river organic pollution in a basin with scarce water resource. Ecology and Civil Engineering, 17: 89-99.
- 福島博 (1971) 河川の流下藻類について. 横浜市立大学論叢, 22: 34-61.
- 片上幸美・中山恵介・金晃燮・米塚佐世子・朴虎東 (2003)

- 移流拡散モデルを用いた天竜川の藍藻 *Microcystis* の動態解析. 陸水学雑誌, 64 : 121-131.
- 児玉真史・田中勝久・澤田知希・都築基・山本有司・柳澤豊重 (2006) 矢作川下流におけるDSi:DIN比の変動要因. 水環境学会誌, 29 : 93-99.
- Kohler, J. (1994) Origin and succession of phytoplankton in a river-lake system (Spree, Germany). *Hydrobiologia*, 289: 73-83.
- 小島貞男 (1960) 貯水池の停滞期におけるプランクトンの沈降経過とその機構. 陸水学雑誌, 21 : 165-172.
- 小島貞男 (1985) おいしい水の探求, NHKブックス 487, 日本放送出版協会, 東京.
- Lund, J. W. G. (1949) Studies on *Asterionella*. I. The origin and nature of the cells producing seasonal maxima. *Journal of Ecology*, 37: 389-418.
- Lund, J. W. G. (1950) Studies on *Asterionella formosa* Hass. II. Nutrient depletion and the spring maximum. *Journal of Ecology*, 38: 1-35.
- Miyajima, T., Nakano, S. and M. Nakanishi (1995) Planktonic diatoms in pelagic silicate cycle in Lake Biwa. *Japanese Journal of Limnology*, 56: 211-220.
- Murakami, T., Isaji, C., Kuroda, N., Yoshida, K. and H. Haga (1992) Potamoplanktonic diatoms in the Nagara River; flora, population dynamics and influences on water quality. *Japanese Journal of Limnology*, 53: 1-12.
- Murakami, T., Isaji, C., Kuroda, N., Yoshida, K. Haga, H. Watanabe, Y. and Y. Saijo (1994) Development of potamoplanktonic diatoms in downreaches of Japanese rivers. *Japanese Journal of Limnology*, 55: 13-21.
- Murakami, T., Kuroda, N. and T. Tanaka (1998) Effects of a rivermouth barrage on planktonic algal development in the lower Nagara River, central Japan. *Japanese Journal of Limnology*, 59: 251-262.
- 村上哲生・西條八東 (1999) 河口域に見られる二つのプランクトン群集—起源, 挙動, 及び河口堰がプランクトン群集に及ぼした影響. 応用生態工学, 2 : 199-204.
- 中西嘉人 (2006) ダム湖における珪藻類の分布と生態. 技術開発ニュース (中部電力), 118 : 23-24.
- Nakano, S., Seike, Y., Sekino, T., Okumura, M., Kawabata, K., Fujinaga, K., Nakanishi, M., Mitamura, O., Kumagai, M. and H. Hashitani (1996) A rapid growth of *Aulacoseira granulata* (Bacillariophyceae) during the Typhoon season in the south basin of Lake Biwa. *Japanese Journal of Limnology*, 57: 493-500.
- 日本陸水学会東海支部会 編集 (2014) 身近な水の環境科学 実習・測定編, 朝倉書店, 東京.
- 野崎健太郎 (2003) 矢作川の濁りと植物プランクトン. *Rio* (豊田市矢作川研究所月報), 66 : 1-2.
- 野崎健太郎 (2018) : 尾張丘陵東部の段丘崖に見られる湧水と小河川源頭部の水質の季節変化—豊田市梅坪町および八草町における事例研究—. 矢作川研究, 22 : 1-16.
- 野崎健太郎・坂井正・中本信忠 (1992) 菅平ダム湖での *Nitzschia holsatica* のブルームと石舟浄水場のろ過閉塞障害. 日本水処理生物学会誌, 28 : 123-127.
- Pappas, J. L. and E. F. Stoermer (2001) *Asterionella* Hassall (Heterokontophyta, Bacillariophyceae) Taxonomic history and quantitative methods as an aid to valve shape differentiation. *Diatom*, 17: 47-58.
- Reynolds, C. S. (1984) *The Ecology of Freshwater Phytoplankton*, Cambridge University Press, United Kingdom.
- Reynolds, C. S. (1988) Potamoplankton: paradigms, paradoxes and prognoses. In Round, F. E. (ed.), *Algae and the aquatic environment*, p. 285-311, Biopress, Bristol, United Kingdom.
- Reynolds, C. S., Descy, J.-P. and J. Padiasak (1994) Are phytoplankton dynamics in rivers so different from those in shallow lakes? *Hydrobiologia*, 289: 1-7.
- Rojo, C., Cobelas, M. A. and M. Arauzo (1994) An elementary, structural analysis of river phytoplankton. *Hydrobiologia*, 289: 43-55.
- 西條八東・村上哲生 (1993) 河口域生態系の特性と環境問題—河川棲浮遊藻類の増殖と水質変化—. 日本生態学会誌, 43 : 211-221.
- 斉藤昭二 (1978) 相模貯水池における植物プランクトンの季節遷移. 陸水学雑誌, 39 : 147-155.
- 斉藤昭二 (1993) 藻類による浄水処理障害—かび臭, 汜過閉塞, 着濁. 水道協会雑誌, 62 (6) : 2-16.
- 田中蕃 (2003) 第5章1 矢作川の汚濁—歴史と現状. 矢作川漁協100年史編集委員会, 環境漁協宣言 矢作川漁協100年史, p. 259-280, 風媒社, 名古屋.
- Tezuka, Y. (1985) Rainfall as a factor regulating the appearance of *Anabena* bloom in the south basin of Lake Biwa. *Japanese Journal of Limnology*, 46: 8-14.
- Wehr, J. D. and J.-P. Descy (1998) Use of phytoplankton in large river management. *Journal of Phycology*, 34: 741-749.

## 利用したデータベース

- 愛知県 あいちの環境 公共用水域の水質調査結果 : <http://kankyojoho.pref.aichi.jp/Mizu/Koukyou/Jouken.aspx> (2018年9月6日時点).
- 気象庁 過去の気象データ検索 : <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2018年9月6日時点).

- 1) 椋山女学園大学教育学部  
(〒464-8662 名古屋市千種区星が丘元町17-3, E-mail: ken@sugiyama-u.ac.jp)  
School of Education, Sugiyama Jogakuen University, Hoshigaoka Moto-machi 17-3, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8662, Japan (E-mail: ken@sugiyama-u.ac.jp)
- 2) 豊田市矢作川研究所  
(〒471-0025 愛知県豊田市西町2-19)  
Yahagi River Institute, Toyota City, Nishi-machi 2-19, Toyota, Aichi 471-0025, Japan

付表 1 2005 年の調査結果.

Appendix 1. Data of this study in 2005

Date	Chl.a $\mu\text{g Chl } a \text{ L}^{-1}$	<i>Asterionella formosa</i>			Other phytoplankton cells $\text{mL}^{-1}$	Total cells $\text{mL}^{-1}$	WT $^{\circ}\text{C}$	Turbidity $\text{mg L}^{-1}$
		Live	Empty cells $\text{mL}^{-1}$	Total				
25 Jan. 2005	0.87	8	4	13	284	297	4.5	1.6
18 Feb.	1.08	47	7	54	379	433	6.1	1.4
7 Mar.	1.39	110	0	110	238	348	7.1	1.7
15 Apr.	2.99	490	12	502	785	1287	12.3	2.4
12 May	15.09	7426	157	7582	526	8108	16.6	4.0
15 May	14.64	11400	35	11435	633	12068	no data	4.4
16 May	13.88	13545	353	13898	791	14689	no data	4.2
18 May	7.24	11740	552	12292	858	13150	no data	no data
20 May	9.84	10771	576	11347	750	12097	17.0	3.2
24 May	6.21	9365	305	9671	799	10470	no data	no data
1 Jun.	4.65	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data
3 Jun.	4.95	6508	74	6581	614	7195	18.0	3.1
9 Jun.	7.94	6969	19	6988	1010	7998	20.9	3.0
16 Jun.	11.41	9822	16	9838	1511	11349	21.1	4.0
24 Jun.	6.34	1208	74	1281	1365	2646	23.1	4.6
30 Jun.	4.81	493	193	686	1666	2352	22.4	4.5
8 Jul.	0.74	24	28	52	465	517	19.4	33.4
15 Jul.	2.00	12	70	82	368	450	22.5	13.6
20 Jul.	1.60	58	65	122	513	635	23.4	3.6
29 Jul.	0.72	7	33	39	298	337	25.0	1.7
5 Aug.	2.00	3	19	22	258	280	25.2	1.6
12 Aug.	0.67	0	19	19	204	238	25.0	1.8
19 Aug.	0.63	0	9	9	299	308	26.0	1.8
26 Aug.	0.83	4	21	25	275	300	23.6	2.6
2 Sep.	1.00	0	12	12	133	145	23.9	1.4
9 Sep.	0.83	0	16	16	194	210	21.9	4.9
14 Sep.	0.55	2	13	15	205	220	23.4	2.7
24 Sep.	0.50	0	4	4	189	193	22.6	1.4
30 Sep.	0.69	35	19	55	701	756	21.9	1.2
7 Oct.	0.50	81	19	100	212	312	20.8	1.5
14 Oct.	0.17	0	8	8	155	163	21.0	0.6
21 Oct.	0.52	2	5	7	192	199	18.1	1.0
27 Oct.	1.00	21	21	41	283	324	16.6	1.1
4 Nov.	0.33	3	7	10	190	200	13.9	0.6
11 Nov.	0.49	25	11	36	172	215	12.5	0.7
18 Nov.	0.33	0	10	10	158	168	13.9	0.6
28 Nov.	0.33	no data	no data	no data	no data	no data	9.5	0.9
5 Dec.	0.83	29	7	36	116	152	7.4	1.0
13 Dec.	0.67	70	12	82	375	457	6.0	1.6
20 Dec.	0.39	12	9	21	677	698	4.0	1.9
28 Dec.	0.50	19	3	22	443	465	3.4	1.6

付表2 2006年の調査結果.  
Appendix 2. Data of this study in 2006

Date	Chl.a $\mu\text{g Chl } a \text{ L}^{-1}$	<i>Asterionella formosa</i>			Other phytoplankton cells $\text{mL}^{-1}$	Total cells $\text{mL}^{-1}$	WT $^{\circ}\text{C}$	Turbidity $\text{mg L}^{-1}$
		Live	Empty cells $\text{mL}^{-1}$	Total				
6 Jan. 2006	0.80	43	9	52	736	788	4.0	1.4
13 Jan.	0.93	91	25	116	763	879	3.1	1.6
20 Jan.	2.23	75	6	81	1585	1666	5.0	5.1
27 Jan.	1.07	14	20	34	480	514	2.7	8.8
6 Feb.	0.50	282	41	323	598	921	2.6	5.3
10 Feb.	0.23	48	21	69	422	491	3.1	3.8
15 Feb.	0.72	165	14	179	783	962	4.5	3.3
28 Feb.	2.00	330	65	395	1005	1400	4.7	4.8
7 Mar.	2.00	252	6	258	771	1029	7.1	4.4
14 Mar.	1.34	111	9	121	892	1013	6.9	2.3
15 Mar.	1.11	304	8	312	772	1084	6.9	2.6
22 Mar.	3.00	2496	86	2582	995	3577	6.5	2.4
29 Mar.	3.00	1596	36	1632	1239	2871	7.6	3.7
5 Apr.	2.84	1737	163	1900	995	2895	7.6	3.1
7 Apr.	1.45	1622	181	1803	1094	2897	8.3	2.4
12 Apr.	3.00	2436	178	2614	2195	4809	8.1	5.4
17 Apr.	1.50	1826	154	1980	1020	3000	10.2	2.1
28 Apr.	7.25	8645	153	8798	1178	9976	12.0	3.0
2 May	6.07	6161	241	6402	1143	7545	14.6	2.7
10 May	4.44	5137	262	5398	742	6140	15.7	4.2
23 May	3.67	3542	123	3665	860	4525	14.7	3.3
26 May	2.21	2025	154	2179	672	2851	15.8	3.1
30 May	1.17	692	100	792	676	1468	17.4	2.7
2 Jun.	0.96	275	74	349	467	816	18.0	1.4
7 Jun.	1.00	168	81	249	347	596	19.9	1.4
10 Jun.	0.63	72	36	108	251	359	18.8	1.5
14 Jun.	1.00	25	32	57	239	296	20.8	1.3
20 Jun.	1.34	10	30	40	189	229	19.6	2.8
27 Jun.	0.83	0	27	27	123	150	19.8	3.2
4 Jul.	1.50	0	12	12	249	261	20.9	2.1
6 Jul.	0.98	4	21	25	329	354	20.0	4.0
11 Jul.	0.20	0	8	8	210	218	no data	2.1
14 Jul.	0.54	0	11	11	176	187	22.7	2.3
26 Jul.	0.60	9	17	26	233	259	20.1	12.6
1 Aug.	0.26	0	32	32	207	239	19.6	5.8
6 Aug.	1.40	no data	no data	no data	no data	no data	23.8	1.9
16 Aug.	0.83	no data	no data	no data	no data	no data	25.9	2.8
23 Aug.	0.83	0	19	19	384	403	24.4	2.5
25 Aug.	0.69	0	5	5	290	295	24.9	2.1
6 Sep.	1.80	0	29	29	824	853	22.3	3.3
13 Sep.	2.88	0	57	57	514	571	22.2	8.2
21 Sep.	1.20	0	19	19	645	664	20.6	4.2
26 Sep.	1.15	21	32	53	473	526	20.1	2.8
5 Oct.	1.40	0	14	14	545	802	19.4	2.8
13 Oct.	0.76	0	4	4	227	231	19.2	1.8
24 Oct.	2.80	6	18	24	403	427	18.0	1.7
31 Oct.	2.40	0	2	2	291	293	16.9	1.4
7 Nov.	2.94	6	6	13	244	257	16.1	1.4
14 Nov.	1.80	0	5	5	219	224	12.3	1.6
15 Nov.	1.17	2	0	2	377	379	no data	
16 Nov.	1.17	7	29	36	803	839	12.5	1.3
29 Nov.	1.60	0	6	6	310	316	13.1	1.1
5 Dec.	1.34	0	20	20	353	373	10.0	1.1
13 Dec.	0.23	0	6	6	308	314	8.2	1.4
18 Dec.	0.56	0	7	7	393	400	8.0	1.7
26 Dec.	0.60	7	7	14	419	433	6.9	1.5

付表3 2007年の調査結果.

Appendix 3. Data of this study in 2007

Date	Chl.a $\mu\text{g Chl } a \text{ L}^{-1}$	<i>Asterionella formosa</i>			<i>Fragilaria crotonensis</i>			Other phytoplankton cells $\text{mL}^{-1}$	Total cells $\text{mL}^{-1}$	WT $^{\circ}\text{C}$	Turbidity $\text{mg L}^{-1}$
		Live	Empty	Total	Live	Empty	Total				
29 Jan. 2007	1.36	32	8	40	0	0	0	510	550	5.0	1.2
20 Feb.	4.34	2299	60	2359	0	0	0	1135	3494	7.0	5.0
23 Mar.	2.82	1742	67	1809	147	0	147	992	2949	8.8	1.4
13 Apr.	3.85	2299	156	2454	445	0	445	2601	5500	12.0	2.1
9 May	14.11	6474	133	6607	9501	0	9501	942	17050	16.8	4.8
11 May	13.52	5417	119	5536	6286	17	6303	1414	13253	16.7	4.5
1 Jun.	1.92	168	151	318	261	81	342	781	1441	17.0	3.1
13 Jun.	3.25	1231	42	1273	1231	42	1273	1330	3875	19.5	2.5
6 Jul.	13.69	14	110	124	16088	579	16667	981	17772	20.0	4.1
6 Aug.	3.63	8	16	24	8	72	80	905	1009	23.0	3.7
21 Sep.	2.35	0	25	25	8	25	33	1162	1220	23.0	2.8
19 Oct.	1.95	30	5	35	5	10	15	450	499	18.0	1.1
9 Nov.	2.60	97	15	112	0	7	7	551	670	15.0	1.3
14 Dec.	1.40	37	41	77	8	4	12	407	496	8.5	1.7