

長良川河口堰上流水域（河口より 22.6～28.4km 区間） における植物プランクトンの高濃度化に関する研究

A STUDY ON THE HIGH CONCENTRATION PHENOMENON OF PHYTOPLANKTON
IN THE UPSTREAM REACH (22.6-28.4km UPSTREAM FROM THE RIVERMOUTH)
OF NAGARA RIVERMOUTH BARRAGE

丸山治朗¹・中井正則²・武村武³・有田正光²

Jiro MARUYAMA, Masanori NAKAI, Takeshi TAKEMURA and Masamitsu ARITA

¹正会員 修(工) 東京電機大学 研究員 理工学部建設環境工学科 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

²正会員 工博 東京電機大学 教授 理工学部建設環境工学科 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

³正会員 博(学) 東京電機大学 助教 理工学部建設環境工学科 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

The Nagara rivermouth barrage is located 5.4km upstream from the rivermouth. An analysis was carried out to examine the behavior of phytoplankton between St. Nanno (23.0km upstream from the barrage) and St. Tokai (17.2km upstream from the barrage) using the monitoring data provided by the committee. The chlrophyll a (Chl.a) growth rate (Chl.a at St. Tokai / Chl.a at St. Nanno) often takes extremely high values under the condition of relatively lower river flow-rates (50 m³/s -90m³/s). In these cases, phytoplankton greatly multiplies under good conditions of water temperature and solar radiation, in addition, extension of the retention time between the two stations occurs due to against winds and it accelerates multiplication of phytoplankton.

Key words : Nagara rivermouth barrage, phytoplankton, flow rate, solar radiation, water temperature, retention time, multiplication, accumulation

1. はじめに

長良川河口堰は1993年に本体工事が完成し、1995年7月より本格的に運用されている。長良川では河口堰の運用以来、その上流水域の滞留が顕在化し、堰より1km, 8.2km上流の伊勢大橋、長良川大橋付近において植物プランクトンの顕著な高濃度化が発生した¹⁾。また、貧酸素化の発生、アオコの出現、ヘドロの堆積による生物の生息環境の悪化およびそれに伴う生物の減少・絶滅が報告されるようになった²⁾。これらの水質・生態系攪乱の主要な原因の一つは、前述した植物プランクトンの高濃度化であると考えられている。

長良川における植物プランクトンに関する研究は堰運用以前より行われている。Murakami et al.^{3),4)}は堰運用前の1990年～1992年に伊勢大橋付近において植物プランクトンの高濃度化を確認しており、伊勢湾の潮汐変動による海洋棲植物プランクトンの侵入の可能性を検討したうえで、河川棲植物プランクトンによるものとしている。また、彼らは植物プランクトンの高濃度化が夏季の渇水期に限定されていることより、河川流量の減少に伴う下流域の滞留時間の延長がこの現象の原因であることを指摘している。

一方、堰運用後について見ると、西條⁵⁾、Murakami et al.⁶⁾

が伊勢大橋付近を対象にして検討を行い、植物プランクトンは河川流量が50～100(m³/s)の時に増殖に要する時間が確保され、最も高濃度化すると報告している。また、Murakami et al.⁶⁾、村上⁷⁾は河口堰による滞留時間の延長が植物プランクトンの増殖を促進し、さらに、高濃度化の発生時期を春季から秋季に及ぶ長期間へと拡大していることを指摘している。著者ら^{8),9)}は長良川大橋から伊勢大橋までの区間を対象にして、植物プランクトンの高濃度化メカニズムをモニタリングデータ¹⁾の解析より検討している。その結果、流下中の植物プランクトン濃度の増大率は自己増殖から求まる値よりも明らかに高く、高濃度化現象には植物プランクトンの自己増殖に加えて、風の吹き寄せ、水温日成層の形成などにより引き起こされる集積現象が関わっている可能性が高いことが示唆された。

また、堰より大きく離れた上流側について見ると、Murakami et al.⁶⁾が堰より約17km上流に位置する東海大橋付近における植物プランクトンの高濃度化について報告している。それによれば、堰運用前の1993年までは植物プランクトンの高濃度化が確認されていないのに対して、運用後はその直後に高濃度化が発生している。また、村上⁷⁾は河口堰から大きく離れた東海大橋付近において植物プランクトンの高濃度化が発生する理由として、河

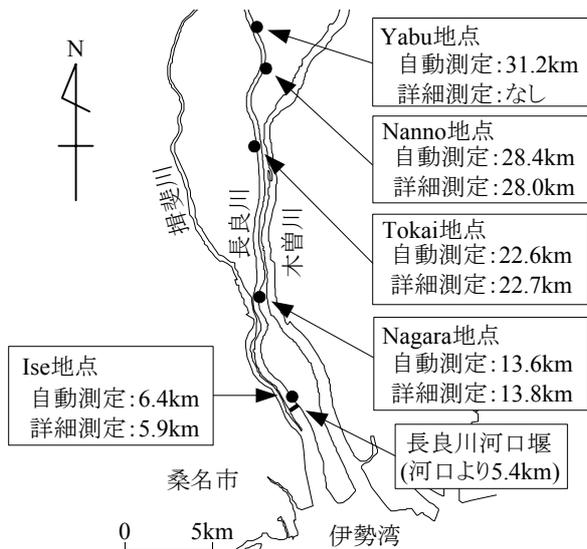


図-1 モニタリングデータの測定地点

川流量の低下により上流域の植物プランクトンの生産量が高くなったことを挙げており、高濃度化を植物プランクトンの自己増殖の概念より議論している。しかしながら、伊勢大橋付近およびさらに上流域についてはこれ以外に研究例がほとんどなく、知見が大きく不足している。

以上のことを踏まえて、本研究では河口堰から大きく離れた南濃大橋付近 (Nanno 地点)～東海大橋付近 (Tokai 地点) における植物プランクトンの高濃度化現象を解明することを目的として、データ解析を実施した。本研究では、植物プランクトンの高濃度化現象に対する自己増殖と集積現象の関与に注目し、増殖に関わる主要な環境要因 (水温、日射) の定量的評価、集積メカニズムの解明を試みる。なお、データ解析には、建設省中部地方建設局・水資源開発公団中部支社が公開している、長良川河口堰モニタリング年報¹⁾の自動測定・詳細測定データを使用し、解析区間は Nanno 地点～Tokai 地点の水域に限定した (両地点については、次章参照)。

2. データ解析

(1) 使用データ

図-1 に長良川河口堰上流域のモニタリング地点を示す。同図のように、長良川河口堰は河口より約 5.4km 上流に位置しており、河口堰上流域は広範囲にわたって湛水域となっている。堰上流域における自動測定データの取得地点は、Ise(河口より 6.4km)、Nagara(同 13.6km)、Tokai(同 22.6km)、Nanno(同 28.4km)、Yabu(同 31.2km)の計 5 地点である。測定項目は、水温、クロロフィル a(Chl.a) 等、計 10 項目であり、1 時間に 1 回の間隔で測定されている (測定水深は表層 (2 割水深)、低層 (8 割水深)、底層 (河床より 50cm 上) の 3 点である)。また、詳細測定は自動測定地点から数 100m 以内で実施されている。測定項目は、水深、植物プランクトン細胞数(cells/ml)等、

計 24 項目であり、1～2 週間に 1 回のペースで実施されている。本解析では、これらの測定データを用い、さらに、気象項目として日射量 (一日積算値:ただし、1998、1999 年は気象庁名古屋気象台のデータを使用)、風速 (毎正時:気象庁桑名測候所) を、また、河川流量として堰放出流量 (日平均値) を使用した。なお、Chl.a は 60 $\mu\text{g/l}$ を超える時刻の値が欠測となっているため、その時刻の Chl.a は 60 $\mu\text{g/l}$ として取り扱った。

(2) データ解析の概要

データ解析では、Nanno 地点 (河口堰より 23.0km 上流、平均水深約 2.8m) から Tokai 地点 (同 17.2km 上流、平均水深約 3.8m) までの水域に注目し、植物プランクトンの流下過程を取り扱った。植物プランクトンの流下のモデリングについては、表層 (2 割水深) の植物プランクトンが平均流にのって、水平方向の移流効果によって流下すると仮定した。従って、本解析では植物プランクトンの水平 (流下) 方向の拡散は考慮されておらず、また、鉛直方向の移動も無視されている。以上のようなモデリングに従い、河川流量をもとに流下時間、2 測定点間の Chl.a 濃度より Chl.a 増大率 (GR) を算出し (流下時間、GR の算出方法は次節参照)、流下中の植物プランクトンの挙動を検討した。

検討期間は河口堰運用後の 1996～1999 年の 4 年間であり、季節は植物プランクトンの増殖が活発となる 4～9 月に限定した。本論文では植物プランクトンの高濃度化を Chl.a $\geq 10\mu\text{g/l}$ と定義し、また、その値が 3 日以上継続した期間を増大期、それ以外を非増大期と称した。なお、文章中では Nanno 地点、Tokai 地点の Chl.a をそれぞれ Chl.a(N)、Chl.a(T) と表記する。

(3) パラメータの計算方法

a) 流下時間

堰運用後における Nanno 地点～Tokai 地点の水深は、堰の背水効果により河川流量の影響をほとんど受けていないので (次章参照)、各年の両地点における平均水深、河幅、および両地点間の距離より求めた流水体積を堰放出流量で除することにより流下時間を算出した。この値は、Nanno 地点～Tokai 地点の距離を平均流速で除したものに等しく、前節のモデリング (植物プランクトンが平均流にのって移動する) において採用すべき植物プランクトンの流下時間に一致する。なお、この流下時間は湖沼等で用いられる滞留時間と同様の性質のものである。

b) Chl. a 増大率

Chl.a 増大率 (GR) は Chl.a(T) を流下時間だけ遡った時刻における Chl.a(N) で除した値であり、Nanno 地点～Tokai 地点を流下する間の Chl.a 濃度の増大率を示している。このパラメータは、前節で述べたように、植物プランクトン群集が単純な水平移流のみによって移動すると仮定して、Lagrange 的に追跡する視点から求めたものである。

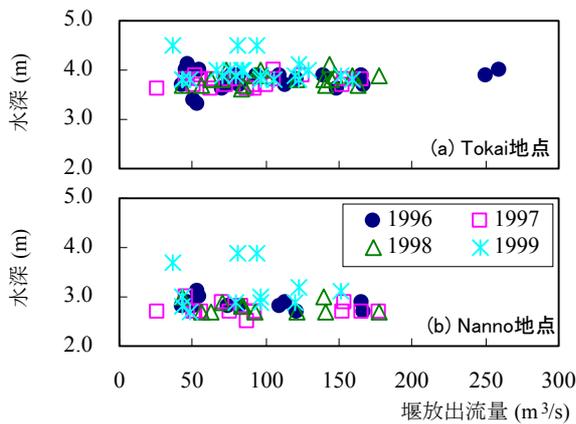


図-2 堰放出流量と水深の関係

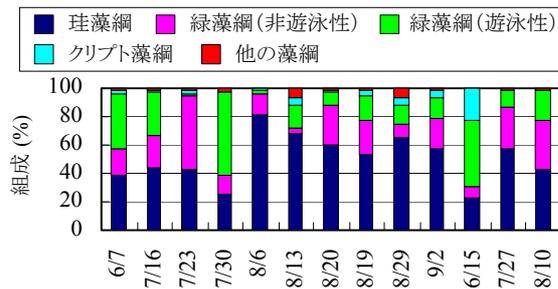


図-4 Tokai地点における植物プランクトン群集の組成

3. 解析結果

(1) 堰の背水効果による滞留化

図-2 に堰運用後の Tokai 地点、Nanno 地点における詳細測定時の河川流量(堰放出流量)と水深の関係を示す。同図より、両地点ともに河川流量の変動に対して水深の変動が非常に小さいことがわかる。これは、Nanno 地点～Tokai 地点が堰による背水効果を強く受けていることを意味しており、滞留化が顕著であると考えられる。玉井ら²⁾の数値計算によれば、堰運用後は堰～河口から23km 上流地点までは堰の背水効果が非常に強く、河川流量 140m³/s 程度以下の範囲では河川流量によって水位がほとんど変化せず、また、水面勾配は極めて小さい。さらに、その上流においても、河口から 35km 地点までは背水効果が現れている。図-2 の結果は彼らの知見とよく一致している。

(2) Chl. a 濃度の時系列特性

本節では、植物プランクトンの増殖において河川流量が重要な役割を果たすことを説明する¹⁰⁾。図-3 に Chl.a(T), Chl.a(N)と河川流量(堰放出流量)の時系列を示す。ここでは、増大期の一例として、Tokai 地点において顕著な高濃度化が確認された 1996 年 7 月 23 日～8 月 15 日のデータを用いた。同図よりわかるように、7 月 23 日に出水が発生しており(河川流量 260m³/s)、その 4 日後に河川流量が 77m³/s まで減少すると同時に Chl.a(T)が高い値を示している。その後、河川流量が約 50～70m³/s で

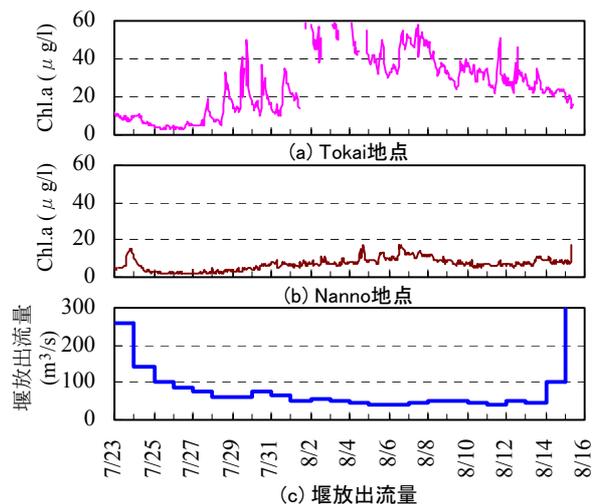


図-3 Chl.aと堰放出流量の時系列

推移する 18 日間、Chl.a(T)が日周変動を伴いながら高い値を維持している。このような植物プランクトンの長期にわたる高濃度化は堰運用後に発生した現象であることから、堰による水域の滞留化が影響していると考えられる。Chl.a(T)が高い値を示す 7 月 27 日～8 月 13 日のデータに対して流下時間だけ時刻を遡って Chl.a(N)の値を見ると(流下時間: 16～28hr)、一部で 10μg/l 以上の高い値を示しているものの、概ね低濃度を維持していることがわかる。これより、河川流量が 50～70m³/s 程度の場合には、植物プランクトン群集が Nanno 地点では十分な増殖時間を確保できず、同地点を低濃度の状態で通過し、Tokai 地点に到達するまでに増殖時間を確保することによって、同地点へ高濃度の状態で到達することがわかる。以上のように、河川流量が低い値で維持されると、Tokai 地点で植物プランクトンの高濃度化が発生し、長期間継続する可能性が高い。

(3) 植物プランクトン群集の組成と最大比増殖速度

本節では、Nanno 地点～Tokai 地点における植物プランクトンの自己増殖のみによる Chl.a の増大率を算出するため、この区間における植物プランクトン群集の最大比増殖速度の上限値(μ_{max})を算定する。

図-4 に Tokai 地点の増大期における植物プランクトン群集の組成を示す。同図からわかるように、すべての測定日において珪藻綱、クリプト藻綱、緑藻綱(遊泳性+非遊泳性)の合計で 90%以上の占有率を示している。なお、珪藻綱では *Cyclotella* 属、クリプト藻綱では *Cryptomonas* 属が常に優位であり(クリプト藻綱は大多数が遊泳性である¹¹⁾)、緑藻綱については *Chlamydomonadaceae* (科、遊泳性)が優位になることが多く、また、*Scenedesmus* 属(非遊泳性)もよく見られる。このように、Nanno 地点～Tokai 地点における μ_{max} を考えるうえで、珪藻綱、クリプト藻綱、緑藻綱の 3 綱を考慮する必要がある。

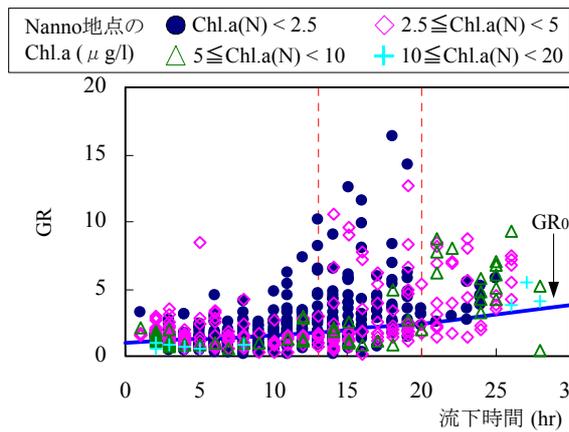


図-5 流下時間とChl.a増大率(GR)の関係

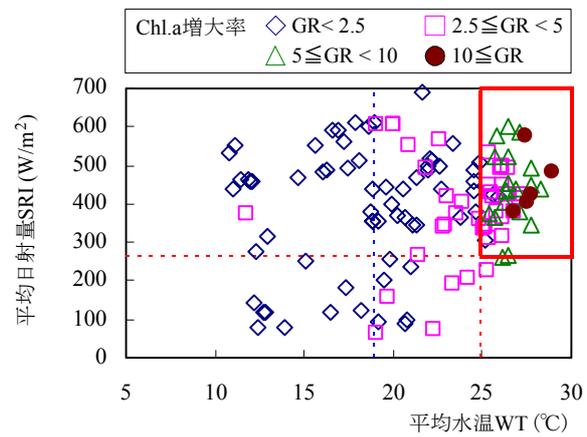


図-6 流下中の平均水温と平均日射量

以上の結果をもとに μ_{max} の値を算定する。各測定日における群集の最大比増殖速度は、組成の重み付き平均値で表すことができる⁹⁾。各藻綱の最大比増殖速度 μ に前述した占有率の高い種のそれを代表値として用い、既往の文献より得られた数値を用いて種ごとに平均値をとると、珪藻綱の *Cyclotella* 属は $\mu=1.23\text{day}^{-1}$ 、クリプト藻綱の *Cryptomonas* 属は $\mu=3.28\text{day}^{-1}$ 、緑藻綱の *Chlamydomonas* 属、*Scenedesmus* 属はそれぞれ $\mu=2.62\text{day}^{-1}$ 、 $\mu=1.69\text{day}^{-1}$ となる¹²⁾¹⁶⁾。これらの値と組成より群集の最大比増殖速度を求め、その最大値を上限値 μ_{max} とすると、 μ_{max} は1999年6月15日の 2.15day^{-1} となる。

以下では、Nanno 地点～Tokai 地点を流下する植物プランクトン群集がこの値($\mu_{max}=2.15\text{day}^{-1}$)以上の自己増殖を示すことがないとして考察を進める。

(4) 流下時間と Chl. a 増大率(GR) の関係

植物プランクトンの挙動と流下時間の関係を検討する。図-5 に Nanno 地点～Tokai 地点の流下時間とその間の Chl.a 増大率(GR)の関係を示す(なお、GR は第2章の(3)の定義に従って求めており、Chl.a(T)には日最大値を用いている。また、プロットは Chl.a(N)の値で分類している)。図中に挿入されている曲線は、前節で求めた μ_{max} をもとに流下時間 24hr に対して 12hr を増殖可能な時間(日中の時間)として求めた、自己増殖のみによる Chl.a の増大率(GR_0)を表している(なお、同じ流下時間であっても Nanno 地点を通過した時刻によって増殖可能な時間(日中の時間)が異なるため、 GR_0 は流下時間に対して一意的に決まらない。この曲線(曲線 A と称する)はその平均的な値を示している)。

同図より、GR は流下時間が短い領域では低い値を示しているものの、流下時間が増大するに従って大きく増大し、流下時間が 13～20hr の範囲で非常に大きい値をとることがわかる。これは、流下中の植物プランクトンの急激な増大には一定の流下時間(増殖時間)が必要であること、植物プランクトンの高濃度化が発生するためには十分に良好な自己増殖が必要であることを示している。GR \geq 10のプロットに注目すると、すべてのデータが

Chl.a(N)<5 $\mu\text{g/l}$ のものであり、Chl.a(N)<2.5 $\mu\text{g/l}$ のデータが半分以上を占めている。これは、Nanno 地点における植物プランクトン量が少ないほど急激な増大を示す可能性が高いことを意味しているが、その原因は植物プランクトン1個体当たりの溶存無機栄養塩が豊富であることと考えられる。なお、この傾向は Nagara 地点～Ise 地点においても確認されている⁸⁾。また、流下時間が 20hr 以上になると GR の値が低下するが、これは流速の低下に伴って河川流の乱れ(鉛直方向)が弱くなり、植物プランクトンの沈降が促進されるためと推察される⁶⁾。さらに、動物プランクトンによる捕食、強光阻害等の影響も否定できない⁶⁾。

ところで、図-5において多くのデータが曲線 A の上側にプロットされており(GR が GR_0 より高い値を示しており)、特に流下時間 13～20hr の領域においてこの傾向が顕著である。曲線 A は植物プランクトンの自己増殖が最大限活発になった場合の Chl.a 増大率(GR_0)を示していることより、これらのデータでは植物プランクトンの高濃度化において、自己増殖に加えて何らかの集積現象が関与していることになる。

4. 植物プランクトンの高濃度化の発生メカニズム

(1) 植物プランクトンの自己増殖

本章では、図-5の曲線 A より上側にプロットされたデータについて詳しく考察を行う。前述のように、これらのデータは植物プランクトンの自己増殖に加えて何らかの集積作用が加わったものであると考えられる。以下では、まず自己増殖について検討し、つぎに集積作用について検討する(ここで言う「集積作用」には本来の意味のみならず、断面平均流速からの単純な算定による流下時間に対する自己増殖以外のものをすべて含めている)。なお、検討対象は、Chl.a 増大率(GR)の大きいデータが頻繁に出現する、流下時間 13～20hr かつ Chl.a(N)<2.5 $\mu\text{g/l}$ のデータ群に限定した(比較・対照のため、図-5の曲線 A の下側にプロットされているデータも含まれている)。

最初に、自己増殖の観点から考察する。植物プランク

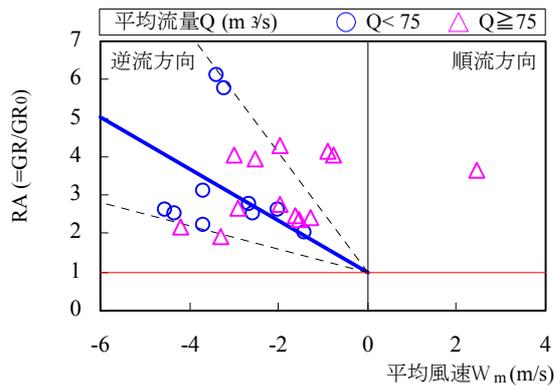


図-7 平均風速とRAの関係

トンの自己増殖に関する環境要因は、水温、日射量、無機栄養塩の3つと考えられるが、Nanno 地点における無機栄養塩のデータが入手できないため、水温、日射量の2つをパラメータとして用いた。図-6は、先のデータ群をGRで分類したうえで、流下時間中の平均水温WTと平均日射量SRIとの関係において出現状況を示したものである。同図によれば、 $GR \geq 2.5$ のデータは $WT \geq 19.0^\circ\text{C}$ の領域にのみ出現しており（ただし、例外のデータが1つ存在する）、植物プランクトンが良好な自己増殖を示すためには水温の条件を満たす必要があることがわかる。しかしながら、日射量についての制限は受けておらず、興味深い結果となっている。なお、これらのデータは図-5において曲線Aの近傍にプロットされており、集積作用の影響を受けているとは断定できず、自己増殖のみの可能性がある。また、 $GR \geq 5.0$ のデータに注目すると、その出現領域は $WT \geq 25.0^\circ\text{C}$ かつ $SRI \geq 260\text{W/m}^2$ となり、水温、日射量の両方による制限を受けている。この条件は、植物プランクトンが良好な自己増殖を示すのに適したものであり、妥当な結果と言える。ここで、注意すべき点は、 $GR \geq 5.0$ のデータが図-5において曲線Aの上側にプロットされていることである。つまり、これらのデータは何らかの集積作用を受けていると考えられるが、この結果より、高いGRを示す原因の1つが十分に良好な自己増殖であると断定できる。

(2) 植物プランクトンの集積現象

つぎに、集積作用の観点から考察する。植物プランクトンの集積現象の原因としてよく取り上げられるものは、遊泳性植物プランクトンの自己鉛直移動、水温躍層、風の3つである。最初に、遊泳性植物プランクトンの自己鉛直移動について検討する。遊泳性植物プランクトンは、早朝から日中にかけて表層へ移動することが確認されており¹⁷⁾、これによってTokai地点の表層のChl.a濃度が高くなり、GRが大きくなった可能性が考えられる。この現象が現れるためには、もちろん、植物プランクトン群集の組成において遊泳性植物プランクトンが高い占有率を示す必要がある。しかしながら、図-4からわかるよう

に、わずか2回の観測結果を除いて遊泳性植物プランクトンの占有率は40%程度以下である。このことより、集積現象の原因が遊泳性植物プランクトンの自己鉛直移動である可能性は低い。

つぎに、水温躍層の影響について検討する。躍層界面の水温差が 10°C 程度以上の水温躍層が形成される湖沼では、躍層付近に植物プランクトンが集積する現象がよく指摘される¹²⁾。長良川では前述のように、堰建設・運用に伴ってTokai地点においてさえ滞留化の影響が現れているものの、Tokai地点の表層と底層の水温差は最大で 2°C 程度であり、夏季のほとんどの日において 1°C 程度以下である。これより、水温躍層が集積現象の原因である可能性は非常に低いと考えられる。

最後に、風の影響について検討する。ここでは、考察の対象を図-6における $GR \geq 5.0$ のデータ（図-6の四角で囲まれた領域のデータ）に限定する。したがって、この考察のねらいは、GRが大きくなる1つの原因が植物プランクトン自身による良好な自己増殖であると確認されたデータに対して風の影響を検討することである。図-7は、前述のデータに対して、 RA （=実際のChl.a増大率(GR)/自己増殖のみによるChl.a増大率(GR_0))と風速 W_m との関係を示したものである。ここで、 GR_0 は、植物プランクトンがNanno地点～Tokai地点を流下する間に自己増殖のみによって生じるChl.aの増大率であり、第3章の(3)で示した最大比増殖速度の上限値 $\mu_{max}=2.15\text{day}^{-1}$ を用いて求めた値である。したがって、集積作用の影響がある場合には $RA > 1.0$ となり、RAが大きいほど集積作用の影響が大きいことになる。また、 W_m は植物プランクトンがTokai地点へ到達する時刻の直前3時間の平均風速であり、河川流と同じ方向の風速を(+)で表している。同図よりわかるように、ほぼすべてのデータが $W_m < 0\text{m/s}$ の領域にプロットされており、河川流と逆向きの風（以下、逆風）が植物プランクトンの集積現象に大きな影響を与えている。また、逆風の影響をより強く受ける、河川流量が小さい（ $75\text{m}^3/\text{s}$ 以下）のデータに注目すると、 W_m が小さいほど（逆風が強いほど）RAが大きい（集積作用が強い）ことが示唆される。このように、バラツキがやや大きいものの、 W_m とRAの間に負の相関が認められるため、河川流が $75\text{m}^3/\text{s}$ 以下のデータに限定して $RA = \alpha W_m + 1$ の形で直線回帰を行うと、 $\alpha = -0.67(\text{s/m})$ が得られる。これは、 W_m が 1.5m/s 程度小さくなると（逆風の風速が 1.5m/s 程度大きくなると）、GRが GR_0 分だけ大きくなることを意味しており、逆風の影響は非常に大きいと考えられる。

ここで、逆風による植物プランクトンの集積現象について、そのメカニズムの考察を試みる。風による植物プランクトンの集積現象を文字通りの「集積」として捉えると、河川流中に逆流が発生し、順流と逆流との境界点（よどみ点）付近に植物プランクトンが集積するケースが考えられる。松尾ら¹⁸⁾は、Tokai地点付近にこのよう

なよどみ点が発生するためには、 -4m/s 程度の強い逆風が長時間連吹する必要があることを数値計算により示している。しかしながら、図-7 によれば -4m/s 程度の強い逆風の出現頻度は低く、また、Tokai 地点付近によどみ点が発生頻りに出現する報告もなされていないことを考えると、この本来の意味における集積の可能性は低い。

つぎに、逆風が植物プランクトンの挙動に与えるもう1つの側面である、風による表層流速の低下について考える。これは、逆風によって表層流速が局所的に低下し、Nanno 地点～Tokai 地点の流下時間が延長される現象と解釈される。図-7 によれば、 $W_m = -1 \sim -4\text{m/s}$ の逆風の出現頻度が高いが、これはそれほどの強風ではない。したがって、この程度の風によって流下時間が大きく延長されるためには、Nanno 地点～Tokai 地点が予想外に強い滞留化を示している必要がある。玉井ら²⁾によれば、河川流量 $140\text{m}^3/\text{s}$ 程度以下では前述のように、河口から 23km 地点までは背水効果が顕著であり、また、それより上流においても、35km 地点までは背水の影響が現れる。Tokai 地点、Nanno 地点がそれぞれ河口から 22.6km、28.4km であること、図-7 のすべてのデータが河川流量 $100\text{m}^3/\text{s}$ 以下のものであることを考えると、両地点には含まれた区間では $W_m = -1 \sim -4\text{m/s}$ の比較的弱い逆風の影響を受けて表層流速が顕著に低下し、流下時間の大幅な延長が起きるために、GR が大きい値を示すと推察される。以上のように、逆風は GR を大きく上昇させるが、そのメカニズムは本来の意味の集積ではなく、流下時間の延長を介したものである。

なお、表層流速の低下が植物プランクトンの沈降を促進する可能性については、以下のように考えられる。逆風による流速低下では河川流量の減少によるその場合と異なり、河川流の乱れ（鉛直方向）があまり抑制されず、植物プランクトンの沈降は大きくは加速化されない（このことは、簡易実験により確認されている）。

5. まとめ

本研究では、長良川河口堰から大きく離れた Nanno 地点～Tokai 地点における植物プランクトンの高濃度化現象を解明することを目的として、データ解析を実施した。Tokai 地点における植物プランクトンの高濃度化は、良好な環境要因（水温、日射量）にともなう自己増殖の活発化に加えて、逆風による流下時間の延長によって引き起こされることが示唆された。後者は滞留化による物理的特性の変化によって顕在化する特徴であり、同水域における植物プランクトンの挙動に河口堰の運用が影響を与えていることが明らかとなった。

なお、本論文の知見を確実にするためには、拡散や逆風が植物プランクトンの輸送に与える影響を考慮した数値モデルによる解析が必要であるが、これについては今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 建設省中部地方建設局・水資源開発公団中部支社：平成 11 年度長良川河口堰モニタリング年報，2000。
- 2) 玉井信行：長良川河口堰が汽水域生息場の特性に与えた影響に関する研究，平成 13～平成 14 年度科学研究費補助金研究成果報告書，2003。
- 3) Murakami, T., Isaji, C., Kuroda, N., Yoshida, K. and Haga, H. : Potamoplanktonic diatoms in the Nagara River; flora, population dynamics and influences on water quality, *Jpn. J. Limnol.*, Vol.53, pp.1-12, 1992.
- 4) Murakami, T., Isaji, C., Kuroda, N., Yoshida, K., Haga, H., Watanabe, Y. and Saijo, Y.: Development of potamoplanktonic diatoms in downreaches of Japanese rivers, *Jpn. J. Limnol.*, Vol.55, No.1, pp.13-21, 1994.
- 5) 西條八束：長良川河口堰における河川棲植物プランクトンの増殖と流量の関係について，応用生態工学，第 1 巻，第 1 号，pp.33-36，1998。
- 6) Murakami, T., Kuroda, N. and Tanaka, T. : Effects of a rivermouth barrage on planktonic algal development in the lower Nagara River, central Japan, *Jpn. J. Limnol.*, Vol.59, pp.251-262, 1998.
- 7) 村上哲生：長良川河口堰建設後の浮遊藻類発生とその環境影響，応用生態工学，第 5 巻，第 1 号，pp.41-51，2002。
- 8) 丸山治朗，武村武，中井正則，有田正光：長良川河口堰上流水域における植物プランクトンの増殖に関する研究～モニタリングデータを用いた解析～，水工学論文集，第 51 巻，pp.1207-1212，2007。
- 9) 丸山治朗，武村武，中井正則，有田正光：長良川河口堰上流水域における植物プランクトンの高濃度化に関するデータ解析，水環境学会誌，第 31 巻，第 8 号，pp.463-470，2008。
- 10) Lack, T. J.: Quantitative studies on the phytoplankton of the rivers Thames and Kennet at reading, *Freshwat. Biol.*, Vol.1, pp.213-224, 1971.
- 11) 小島貞男，須藤隆一，千原光雄：環境微生物図鑑，p13，講談社，1995。
- 12) 岩佐義朗：湖沼工学，pp.270-356，山海堂，1990。
- 13) Hoogenhout, H. and Amesz, J. : Growth rate of photosynthetic microorganisms in laboratory cultures, *Archiv für Mikrobiologie*, Vol.50, pp.10-25, 1965.
- 14) Cloern, J. E. : Simulation model of *Cryptomonas ovata* population dynamics in southern Kootenay Lake, British Columbia, *Ecological Modelling*, Vol.4, pp.133-149, 1978.
- 15) 梅田信，富岡誠司：環境アセスメントにおける水質予測パラメータの設定に関する検討，平成 15 年度ダム水資源環境技術研究所所報，pp.3-9，2004。
- 16) Di Toro, D. M., O'connor, D. J. and Thomann, R. V. : A dynamic model of the phytoplankton population in the Sacramento-San Joaquin Delta, *Advances in chemistry Series, American chemical Society*, Vol.131, pp.131-180, 1971.
- 17) Salonen, K., Jones, R. I. and Arvola, L. : Hypolimnetic phosphorus retrieval by diel vertical migrations of lake phytoplankton, *Freshwater Biology*, Vol.14, pp.431-438, 1984.
- 18) 松尾直規，鶴田周作：長良川河口堰上流水域の流れと水質に及ぼす風の影響に関する数値解析，水工学論文集，第 41 巻，pp.451-456，1997。

(2008. 9. 30 受付)