

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～

A STUDY ON MULTIPLICATION OF PHYTOPLANKTON
IN THE UPSTREAM REACH OF NAGARA RIVERMOUTH BARRAGE
USING THE MONITORING DATA

丸山治朗¹・武村武²・中井正則³・有田正光³

Jiro MARUYAMA, Takeshi TAKEMURA, Masanori NAKAI and Masamitsu ARITA

¹学生会員 修(工) 東京電機大学大学院先端科学技術研究科 建築・建設環境工学専攻
(〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

²正会員 博(学) 東京電機大学 助手 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 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)

Nagara rivermouth barrage is located at a 5.4km upstream site from the rivermouth and its upstream reach is changed to a reservoir area. An analysis was carried out with the monitoring data to investigate the production process of phytoplankton during retention time in the just upper region of the barrage. There were two kinds in the production process of the phytoplankton. Pattern *A* was large self-multiplication of the phytoplankton and Pattern *B* was flowing down of phytoplankton masses with high concentration. It was made clear that Pattern *A* occurred with enough dissolved inorganic nutrients (DIN, PO₄-P) and a medium flow rate when water temperature and solar radiation were more than 22 degrees and 20 MJ/m², respectively.

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

1. はじめに

1995年7月に長良川河口堰が運用されて以来、堰上流水域は滞留が顕在化し、また、河口域の生態系は分断され、貧酸素化による水質障害、生息環境の悪化による生物の減少・絶滅(ヤマトシジミ, カニ類, ヨシ等)が報告されるようになった¹⁾。これらの多大な環境インパクトの根源の1つは、堰運用後に顕著になった植物プランクトンの大増殖であり、その増殖を抑制することは水質管理、生物保護、水産事業など多側面におよぶ重要な問題である。

堰上流水域における植物プランクトンの増殖は堰建設以前と建設後で明確に異なっており、堰建設後は堰より約17km上流に位置する東海大橋付近(Tokai地点; 図-1参照)においてさえ、植物プランクトンの高濃度化が確認されている^{2),3)}。さらに、その下流の長良川大橋(Nagara地点)、伊勢大橋付近(Ise地点)ではより激しい現象が発生している。また、堰建設後には、植物プランクトンが高濃度化する継続期間が堰建設以前より明らかに長期

化しており、環境インパクトが増大している。

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ついては、既にいくつかの研究が行われており、植物プランクトンは河川流量が50~100(m³/s)の時に最も増殖すると報告されている^{4),5)}。これは、植物プランクトンの増殖条件を簡潔に示した重要な知見ではあるが、植物プランクトンの増殖プロセスを理解するには不十分である。また、植物プランクトンの増殖には河川流量(流下時間)のみならず、他の環境要因(水温、栄養塩、光等)も大きな影響を及ぼしていると考えられるが、これについて詳細に報告された例は少なく、今後の重要な課題と思われる。

以上のことを踏まえて、本研究では堰上流水域の水質管理に際して有用な知見を得ることを目的として、植物プランクトン量の変動についてデータ解析を実施した。本論文で注目した点は大きく2つあり、植物プランクトンの増殖プロセスの解明、および増殖に関わる主要な環境要因(水温、栄養塩、日射)の定量的評価である。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

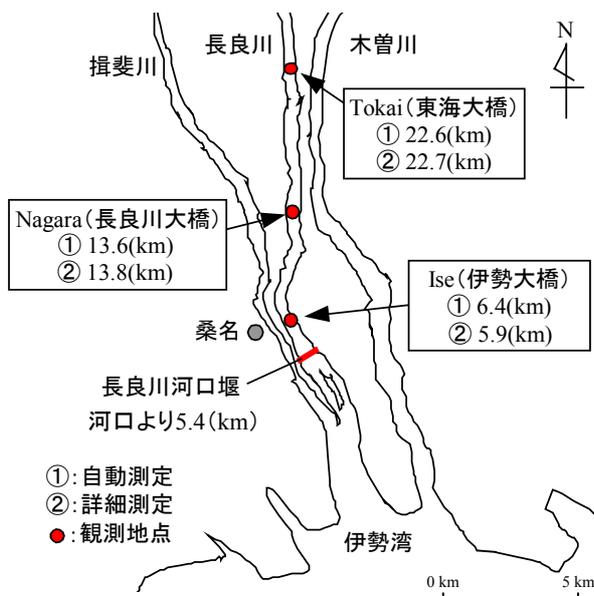


図-1 観測地点と周辺地域の概要

ング年報^{2), 3), 6) - 8)}の自動測定・詳細測定データを使用し、解析区間は最も滞留化が進んでいる Nagara 地点から Ise 地点までの水域に限定した。

2. データ解析

図-1 に長良川河口堰上流流域のモニタリング地点と周辺地域の概要を示す。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、河口堰上流流域は湛水域となっている。自動測定データの取得地点（堰上流流域）は、Ise（河口より 6.4km）、Nagara（同 13.6km）、Tokai（同 22.6km）、Nanno（同 28.6km）、Yabu（同 31.2km）の計 5 地点である。測定項目は、水温、溶存酸素（DO）濃度、クロロフィル-a（Chl-a）、総窒素（T-N）、総リン（T-P）等、計 10 項目であり、1 時間に 1 回の間隔で測定を行っている（測定水深は表層（2 割水深）、底層（8 割水深）、底層（河床より 50（cm）上）の 3 点であるが、測定地点・項目によっては欠落しているものもある）。また、詳細測定は自動測定地点から数 100（m）以内で実施されている。測定項目は、水深、アンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）、亜硝酸態窒素（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）、硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）、リン酸態リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）等、計 24 項目であり、1~2 週間に 1 回のペースで測定している。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。

本論文では、滞留が顕在化しており、Chl-a が頻繁に高い値を示す、Nagara 地点（河口堰より 8.2km 上流、平均水深約 5.5（m））から Ise 地点（同 1km 上流、平均水深約 7（m））までの水域に注目し、植物プランクトン濃

度の変動に関するデータ解析を実施した。データ解析では、表層（2 割水深）の植物プランクトンの挙動に注目し（自動測定における Chl-a のデータは 2 割水深のみ）、植物プランクトンの各個体が平均流によって流下すると仮定したうえで、Ise 地点では Nagara 地点からの流下時間だけずらしたデータを用いて、Chl-a 増大率を求めた。したがって、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。このように、移流のみに着目した解析を行うことで、現地における植物プランクトンの動態をどの程度まで説明できるかを検討した。なお、検討期間は河口堰建設後の 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。また、文章中では各水質項目の観測地点を、観測地点の頭文字を括弧に入れた形で表記した（例えば、Nagara, Ise 地点の Chl-a（表層）は、それぞれ Chl-a(N), Chl-a(I) と表記される）。

3. 結果および考察

(1) 時系列特性

最初に、Ise, Nagara 地点における時系列を用いて、植物プランクトン濃度の変動を検討する。一例として、両地点において Chl-a が高い値を示した 1996 年 5/21~6/12 を選択した。図-2 に Ise, Nagara 地点における表層のクロロフィル-a（Chl-a(I), Chl-a(N)）、Nagara 地点における表層の総窒素・総リン（T-N(N), T-P(N)）、Ise 地点における表層水温・底層水温・水温差（SWT(I), BWT(I), dWT(I)）、堰放出流量、日射量、補正風速（河川流に沿う方向の成分：順流方向（+）、逆流方向（-）、以下では風速と記す）の時系列を示す。

図-2 (a), (f) よりわかるように、大きな出水（5/22 に発生）から 5 日経過した 5/27 に Chl-a(I) が非常に高い値を示し、日周変動を伴いながら、その後約 2 週間におわたって高い値が継続している。このような植物プランクトンの大増殖の長期化は堰建設後に起きるようになった現象であることから、堰建設による水域の滞留化が影響していると考えられる。ここで、5/27 の Chl-a(I) のピーク値に注目する。Nagara 地点から Ise 地点への流下時間を考慮し、5/27 から 2.2 日前（5/25）の Chl-a(N) を見ると、非常に低い値を示しており、植物プランクトンは流下中に大増殖したものと考えられる（図-2 (b) 参照。ここでは、植物プランクトンの輸送に対して移流効果のみを考えているので、5/27 の Ise 地点における植物プランクトンの大増殖は 5/25 の Nagara 地点における植物プランクトン群が源となる）。また、5/28~5/31 の Chl-a(I) の高い値についても同様である。このように、Nagara 地点~Ise 地点の流下過程における増殖が原因となって、Chl-a(I) が高い値を示す場合をパターン A と定義する。

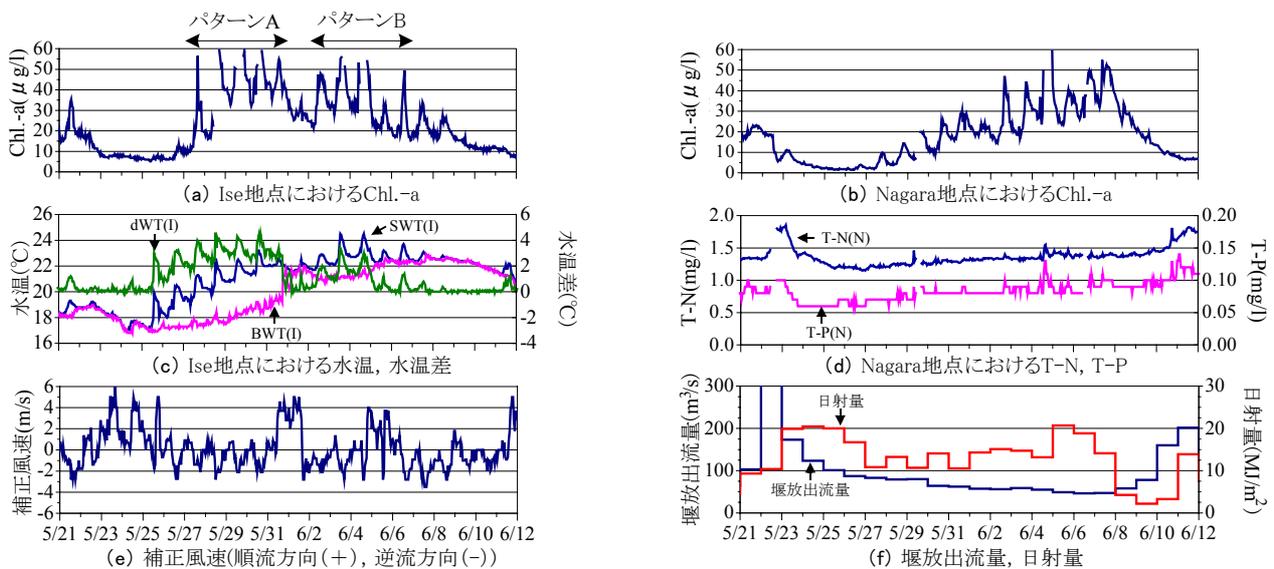


図-2 測定項目の時系列

植物プランクトンの増殖に関わる環境要因のうち、特に重要なものとして、水温、栄養塩量（窒素・リン）、日射量が挙げられる。ここで、パターン A の現象をこれらの環境要因との関係で考察する。図-2 (c) より、Ise 地点の表層水温 SWT(I)は 5/22 の出水の後にいったん 18 (°C) 以下まで低下するものの、5/25 より上昇し、5/30 には約 23 (°C) に達している。多くの植物プランクトンにとって増殖に最適水温は 18~25 (°C) であることが知られており⁹⁾、5/27~5/31 は植物プランクトンの増殖に適した水温環境であったことがわかる。つぎに、図-2 (f) においてこの時期の日射量を見ると、10~20 (MJ/m²) を示している。これより、植物プランクトンの光合成に対して十分な日射量が得られていたことがわかる。

つぎに、栄養塩量の影響について考える。Nagara 地点における T-N、T-P に注目すると、T-N(N)、T-P(N)は 5/22 の出水時に高い値を示すものの、翌日には大きく低下している（図-2 (d) 参照、この Nagara 地点における出水による栄養塩の一時的な過剰供給は 5/25 より前であるため、5/27 の Ise 地点における植物プランクトンの大增殖と無関係であると思われる）。その後、T-N(N)、T-P(N)はそれぞれ 1.2~1.3 (mg/l)、0.06~0.08 (mg/l) 程度の高濃度値で安定しており、植物プランクトンの増殖に対して十分な量の無機態栄養塩が溶存していたことがわかる。以上より、パターン A の現象は、水温環境、光環境、栄養塩量がともに植物プランクトン増殖に対して良好な条件を備えている場合に起きることと推察される。

ところで、植物プランクトン濃度が増大する他の原因として、風の吹き寄せによる集積現象が考えられる。図-2 (e) において風速の変動を見ると、ほとんどの日に順流方向と逆流方向の風が交互に発生しており、河口域特有の海陸風の影響が現れている。この風のデータと Ise 地点の水温差 dWT(I)の変動（図-2 (c) 参照）との関係

において、Chl.-a(I)の結果をしてみる。Chl.-a(I)が高い値を示した 5/27 についても、その前日から逆流方向の風が吹き始めており、5/30 まで周期的に継続している。また、前述したように、この期間（5/27~5/31）には Ise 地点の表層水温 SWT(I)が上昇し、dWT(I)が最大で約 4°C に達している。これは、Ise 地点が成層化し、表層は風による吹き寄せの作用を受けやすい状態となっていることを意味している。つまり、逆流方向の風が Ise 地点周辺に植物プランクトンを集積させることにより、パターン A の現象を加速している可能性がある。これについては、次節で考察する。

ここで、図-2 (a)、(b) を再度見ると、6/2~6/6 にも Chl.-a(I)が高い値を示していることに気付く。流下時間（3.3~3.7 日）を考慮して、Chl.-a(N)と対応させると、5/30~6/3 において Chl.-a(N)がすでに高い値をとっており、この場合には Nagara 地点~Ise 地点でそれほど激しい増殖は発生していないことがわかる。このように、Nagara 地点においてすでに植物プランクトンが十分な増殖を示しており、その状態を維持した形で Chl.-a(I)が高い値をとる場合をパターン B と定義する

以上のように、Ise 地点で植物プランクトン濃度が大きくなる現象には、パターン A、B の 2 通りのプロセスがあることがわかった。

(2) 植物プランクトン増殖率とパターン A の出現条件

前節では、Ise 地点における植物プランクトンの高濃度化について時系列をもとに説明し、植物プランクトンの増殖プロセスには、パターン A、B の 2 通りがあることを示した。本節ではこの議論を深めるために、1996~1999 年の 4 年間にわたる膨大なデータをもとにして、より一般的な考察を行い、パターン A の出現条件を求める。なお、以下の考察で用いるクロロフィル a、栄養塩量（総量および溶存無機態量）はいずれも表層の値である。

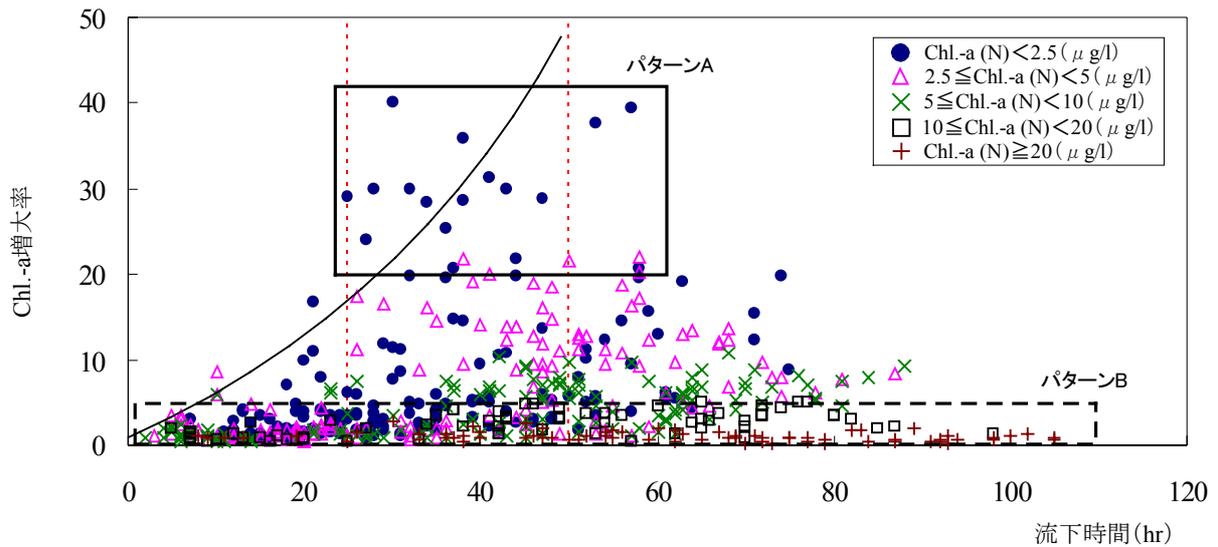


図-3 Chl.-a増大率と流下時間の相関

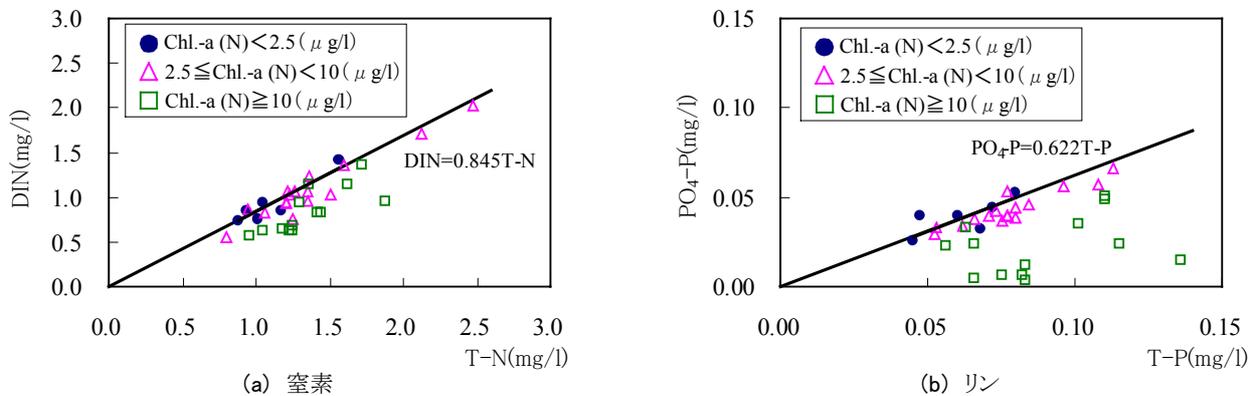


図-4 T-N, T-Pと溶存無機態栄養塩の相関

図-3に Nagara 地点～Ise 地点の流下時間と Chl.-a 増大率の相関関係を示す (プロットは Chl.-a(N)の値で分類している). ここで, 横軸の流下時間は各年の Ise, Nagara 地点における平均水深, 河幅, および 2 地点間の距離よりこの間の流水体積を求め, 堰放出流量で除することにより算出した値である. また, 縦軸の Chl.-a 増大率は $Chl.-a(I)/Chl.-a(N)$ であり, Chl.-a(I)は Chl.-a(N)の時刻より流下時間だけ遅れた時刻における値である. 同図では, 流下時間の延長に伴って, Chl.-a 増大率が大きくなっているが, これは植物プランクトンの自己増殖特性を反映している. また, Chl.-a(N)の値ごとに見ると, 全体的に Chl.-a 増大率は Chl.-a(N)が高いほど低く, Chl.-a(N)が低くなるにつれて高くなる傾向にある. 具体的に述べると, $Chl.-a(N) \geq 10 (\mu g/l)$ では Chl.-a 増大率が最大でも 5 程度であるのに対して, $Chl.-a(N) < 2.5 (\mu g/l)$ では Chl.-a 増大率が 20 以上となっているプロットが多数ある. 前者は先述のパターン B に, また, 後者はパターン A に対応していると考えられる. パターン A は, 流下時間が 25 ~ 50 (hr) の領域で顕著であり, この条件を河川流量に換算すると, 約 90~180 (m^3/s) となる. このように, Chl.-a 増大率は Nagara 地点における植物プランクトン濃

度 (Chl.-a(N)) に強く依存している.

この理由は, 植物プランクトン濃度が溶存無機態栄養塩量と直接結びついていることと推察される. つまり, Chl.-a(N)が低い場合には, 溶存無機態栄養塩が豊富に存在するため, 植物プランクトン 1 個体に割り当てられる栄養塩量が十分であり, 植物プランクトンはこれを活用して, Ise 地点に到達するまでに大きく増殖できる. このことを確認するために, Nagara 地点における栄養塩量について検討する. 図-4 は T-N(N)と DIN(N) (溶存無機態窒素), T-P(N)と $PO_4-P(N)$ の相関関係を示している (図中のプロットは, $Chl.-a(N) < 2.5 (\mu g/l)$, $2.5 \leq Chl.-a(N) < 10 (\mu g/l)$, $Chl.-a(N) \geq 10 (\mu g/l)$ で分類してあり, $Chl.-a(N) < 2.5 (\mu g/l)$ のプロットに対して回帰直線を挿入してある. なお, ここでは詳細測定 of データを使用した). 同図より, 窒素, リンともに $Chl.-a(N) < 2.5 (\mu g/l)$ のプロットは, すべてのデータの最も上側に分布しており, 溶存無機態栄養塩量が常に多いことを示している (これは植物プランクトン量が少ないためであり, 予想通りの結果といえる). このように, $Chl.-a(N) < 2.5 (\mu g/l)$ の場合には, 溶存無機態栄養塩が豊富に存在するため, 植物プランクトン 1 個体あたりの使用可能量は十分であり, こ

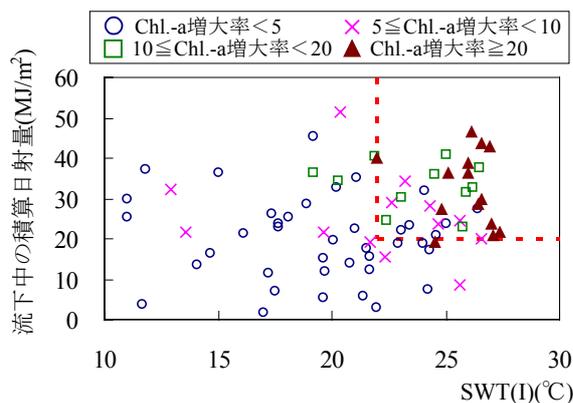


図-5 SWT(I)と積算日射量

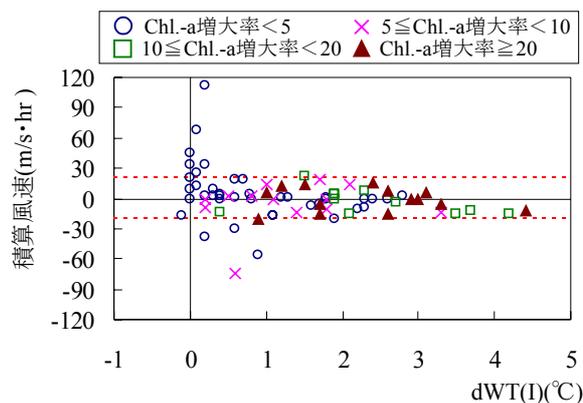


図-6 dWT(I)と積算風速

れがNagara地点～Ise地点での大増殖に直結している(なお、 $2.5 \le Chl.-a(N) < 10$ ($\mu g/l$) のデータは $Chl.-a(N) < 2.5$ ($\mu g/l$) に対する回帰直線によく合致しているが、植物プランクトン 1 個体あたりの使用量で考えると、 $Chl.-a(N) < 2.5$ ($\mu g/l$) の場合より当然少なくなる)。

この特性が明確に現れている領域を図-3 に実線で示した。この領域は前述のようにパターンAに対応しており、ここでは $Chl.-a$ 増大率 ≥ 20 と定義した。パターンAが現れるための溶存無機態栄養塩量の条件は、図-4の回帰直線より、 $PO_4-P(N)/T-P(N) \ge 0.622$ 、 $DIN(N)/T-N(N) \ge 0.845$ である。なお、図-3においてパターンAのプロットは、そのほとんどが $Chl.-a(N) < 2.5$ ($\mu g/l$) の条件を満たしているが、逆は必ずしも成立せず、 $Chl.-a(N) < 2.5$ の条件を満たしていても $Chl.-a$ 増大率の低いプロットが多数存在している。これは、水温や日射量の条件が不適なためと考えられる(これについては、後ほど考察する)。

一方、図-3において、 $Chl.-a(N) \ge 10$ ($\mu g/l$) の場合に $Chl.-a$ 増大率が低下するのは、Nagara地点ですでに溶存無機態栄養塩が枯渇していることが原因である(図-4参照)。この場合には、十分な量まで増殖した植物プランクトン群が栄養塩に対する競争を起し、1 個体あたりの使用可能量がわずかとなる。この特性が現れている領域を図-3 に破線で示した。この領域はパターンBに対応しており、ここでは $Chl.-a$ 増大率 ≤ 5 と定義した。なお、この場合には ($Chl.-a(N)$ が大きい) 植物プランクトンが群体を形成し¹⁰⁾、沈降作用が増大すると思われる。これも植物プランクトンの増殖を抑制する一因と考えられる。

ところで、図-3におけるパターンAの領域では、同一の流下時間に対してプロットが大きくばらついているが、この原因の1つとして植物プランクトンの輸送に拡散が大きな影響を与えているためと推察される。つまり、この場合には移流による輸送のみでは植物プランクトンの増殖を定量的に正確に評価できず、数値の高精度化のためには拡散を考慮した解析が必要である(この点は、今後の課題である)。一方、パターンBの領域でプロットがあまりばらつかない理由の1つは、 $Chl.-a(I)$ が $Chl.-a(N)$ のせいぜい5倍であり、両地点間の $Chl.-a$ の変化が緩や

かであるため、強い拡散が発生しないことと考えられる。なお、パターンAのプロットのばらつきについては、拡散に加えて以下のことが関係していると思われる。つまり、植物プランクトンの増殖に対してどの環境要因(栄養塩濃度、日射量、水温等)も制限的に作用することがなく、複合的に作用するため、ばらつきが必然的に大きくなる。

図-3におけるパターンAの領域は前述のように、Nagara地点～Ise地点で植物プランクトンが大増殖する場合であるが、それを可能にする水温、日射量の条件について検討する。図-3において $Chl.-a(N) < 2.5$ ($\mu g/l$) であり、かつ、流下時間が25～50時間であるすべてのプロットに対して、植物プランクトンのIse地点到達時の表層水温 (SWT(I)) と流下中の積算日射量の値を示したものが図-5である(これらのデータのなかには、パターンAのほぼすべてのデータとそれ以外の多数のデータが混在している。なお、プロットは $Chl.-a$ 増大率の値で分類している)。ここで、 $Chl.-a$ 増大率 ≥ 20 のプロットに注目する。この条件はパターンAの場合に対応しており、ほぼすべてのプロットが $SWT(I) \ge 22$ ($^{\circ}C$)、かつ、積算日射量 ≥ 20 (MJ/m^2) の領域に分布している。これに対して、 $Chl.-a$ 増大率 < 5 のプロット(パターンB)の多くが、 $SWT(I) < 22$ ($^{\circ}C$)、または、積算日射量 < 20 (MJ/m^2) の領域に分布している。以上のように、パターンAの増殖が現れるのは、十分な溶存無機態栄養塩量に加えて、水温環境、日射量に適当な条件がそろった場合に限定される。

最後に、風による植物プランクトンの集積について検討する。図-6は図-5に用いたデータと同じものに対して、植物プランクトンのIse地点到達時の上下層水温差 (dWT(I)) と積算風速 (Ise地点到達時から時刻を遡り、風速が0になるまでの1時間ごとの風速を積算した値) の値を示している(プロットは $Chl.-a$ 増大率の値で分類している)。同図より、積算風速が $-20 \sim 20$ ($m/s \cdot hr$) の比較的緩やかな風条件下において、dWT(I)が最大4 ($^{\circ}C$) 程度の水温成層が形成されることがわかる。このことは、Nagara地点～Ise地点の水域が滞留化していることを示唆している。しかし、 $Chl.-a$ 増大率とdWT(I)、

表-1 パターンAの出現条件

環境要因	出現条件
栄養塩量(Nagara地点)	$PO_4\text{-P/T-P} \geq 0.622$, $DIN/T-N \geq 0.845$
流下中の積算日射量	20(MJ/m ²)以上
水温(Ise地点)	22(°C)以上
河川流量	90~180(m ³ /s)

積算風速の間に強い相関関係は見られず、風による植物プランクtonの集積の影響は小さいと考えられる。ただし、積算風速 ≥ 20 (m/s・hr) (順流方向) の領域を見ると、ほぼすべてのプロットがChl.-a増大率 < 5 であることがわかる。これは、順流方向の強い風が植物プランクtonの流下時間を短縮し、その増殖を抑制したことを示している可能性が高い。

4. まとめ

本論文では、長良川河口堰上流水域のNagara地点~Ise地点に限定してモニタリングデータの解析を行い、植物プランクtonの増殖について検討した。

河口堰建設後、Ise地点では植物プランクtonが高濃度化する現象が春季~秋季に頻繁に発生するが、植物プランクtonの増殖プロセスにはパターンA、Bの2通りがあることがわかった。パターンAはNagara地点~Ise地点において激しい自己増殖を示すケースであり、一方、パターンBはNagara地点ですでに十分な増殖を示し、その状態を維持した形でIse地点に到達するケースである(もちろん、両パターンの中間的な様相を呈するケースが多数存在する)。パターンAの出現条件は、本データ解析より表-1のようにまとめられる。同表のように、河川流量、溶存無機態栄養塩量、水温、日射量の条件がそろった場合に限り、Nagara地点~Ise地点において植物プランクtonの激しい増殖が発生し、その増殖率は20倍程度以上となる。なお、河川流量に下限値が存在するのは、流下時間が十分に長くなると、植物プランクtonの沈降が促進され、増殖が抑制されるためである。

ところで、この河川流量の値は西條⁴⁾、村上⁵⁾が植物プランクtonの増殖を促進するとしている、50~100(m³/s)と大きくずれているが、この原因は著者らと注目する点が異なっているためと思われる。彼らは、Ise地点におけるChl.-aの高い値に注目しており、本研究で

示したパターンAの増殖プロセスのみならず、パターンBのそれも考察の対象としている。そのうえで、Ise地点におけるChl.-aの高い値を抽出し、それが高頻度で出現する河川流量を示したものであり、著者らの求めた値と異なることに矛盾はない。

最後に、今後の課題について述べる。今回の解析においては、植物プランクtonの輸送が移流のみによると仮定したが、本文中でも述べたように、パターンAでは拡散の影響が大きく、定量的に正確に取り扱うためにはこれを考慮する必要がある。また、植物プランクtonの鉛直方向への移動も無視できない。今後、これらの点を解決すべく、数値モデルによる検討を行う予定である。

謝辞：本研究の一部は東京電機大学総合研究所研究費(Q06E-04)により行われたものであり、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 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。
- 2) 建設省中部地方建設局・水資源開発公団中部支社：平成7年度長良川河口堰モニタリング年報(第1巻)、1996。
- 3) 建設省中部地方建設局・水資源開発公団中部支社：平成8年度長良川河口堰モニタリング年報(第1巻)、1997。
- 4) 西條八束：長良川河口堰における河川棲植物プランクton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。
- 5) 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。
- 6) 建設省中部地方建設局・水資源開発公団中部支社：平成9年度長良川河口堰モニタリング年報(第1巻)、1998。
- 7) 建設省中部地方建設局・水資源開発公団中部支社：平成10年度長良川河口堰モニタリング年報(第1巻)、1999。
- 8) 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(第1巻)、2000。
- 9) 手塚泰彦、渡辺泰徳、渡辺真利代 共訳：藻類の生理生態学、pp.52-56、培風館、1987。
- 10) 手塚泰彦 訳：陸水学、pp.243-284、京都大学学術出版会、1999。

(2006.9.30 受付)