

紀ノ川下流における植物プランクトンの 個体数と種構成の春から夏にかけての変化

A NUMBER AND SPECIES OF PHYTOPLANKTON IN THE KINOKAWA RIVER
FROM SPRING TO SUMMER

寺本健士¹・岩根良和²・石塚正秀³・井伊博行⁴・平田健正⁵

Takeshi TERAMOTO, Yoshikazu IWANE, Masahide ISHIZUKA, Hiroyuki II and Tatemasa HIRATA

¹学生会員 和歌山大学大学院 システム工学研究科システム工学専攻 (〒640-8510 和歌山市栄谷930)

²非会員 和歌山大学 システム工学部環境システム学科 (〒640-8510 和歌山市栄谷930)

³正会員 博(工) 香川大学助教授 工学部安全システム建設工学科 (〒761-0396 香川県高松市林町2217番20)

⁴正会員 博(理) 和歌山大学教授 システム工学部環境システム学科 (〒640-8510 和歌山市栄谷930)

⁵正会員 工博 和歌山大学教授 システム工学部環境システム学科 (〒640-8510 和歌山市栄谷930)

Both stagnant and flowing water conditions in the Kinokawa river, a number of phytoplankton and their species were analyzed. The number of blue-green algae increased with both water temperature and decreasing water flow. As the river flow rate decreased in summer season, the ratios of *Merismopedia* sp. in blue-green algae, *Nitzschia* sp. in diatom, and *Scenedesmus* sp. in green algae increased. In summer season Nutrient in the Kinokawa river decreased with flowing and then nutrient in the middle stream of the Kinokawa river decreased because of decreasing flow and increasing phytoplankton.

Key Words : *phytoplankton, nutrient, blue-green algae, green algae, diatom, kinokawa river*

1. はじめに

近年になり水質問題は限られた範囲(点源, 面源)からの影響についてだけではなく, 山から川, そして海へと, 物質を運ぶ水系・流域全体を考えた, より広い視点から水環境問題を捉える必要性が強調されている。同時に, 陸域から海域への物質収支は, 地球規模の問題(生態系保全や生物多様性問題)にまで発展する可能性があることから, 重要な課題といえる¹⁾。

また, 陸域にある停滞水域内の物質貯留や人為的栄養塩供給の少ないダム貯水池における水質悪化は, 停滞水域が水質にもたらす変化の重要性を示している。さらに, 陸域の水質変化が海域の生態系バランスに変化をあたえるシリカ欠損²⁾のような問題も新たに懸念されている。

生活様式の変化や産業の発展により, 陸域から河川に排出される負荷は増大している中, 治水や利水を目的としたたくさんのダムや堰が建設されている。それは, 紀ノ川においても, あてはまる事柄である。この変化によって, 停滞水域に多くの栄養塩を供給することになり,

河川水の水質悪化が必至であると考えられる。また, 人為的な停滞水域であるダムや堰などは利水の面からみて, 私達の生活に密接した存在であり, そこでの水質悪化は私達に大きな影響を与えるということで, 無視することのできない問題である。

また, 植物プランクトンは水質変化に反映されやすく, 生産者として生態系の基部のレベルを形成している。そのため, その個体数・種構成の変化は生態系全体に影響を与えることが考えられることから, 植物プランクトンの観察は重要である。そこで, 2004年に調査³⁾(石塚, 2005)を実施したところ, 流れのない堰上流で7月の水温上昇時に藍藻プランクトンと珪藻プランクトン個体数の増加が観察された。しかし, 観測頻度が2週間に1度であったため, 短期間での植物プランクトンと水質の関係を把握することができなかった。また, 植物プランクトンの増殖と水質変化に流れがどのように影響しているのかわからなかった。

そこで, 本研究では, 夏季の植物プランクトンの増殖と水質の関係を詳細に調べるために, 夏季に毎日観測を実施した。また, 流れが植物プランクトン増殖に与える

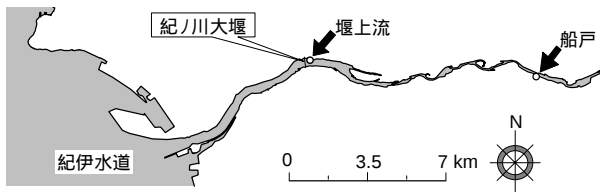


図-1 紀ノ川下流部の地図

影響を明らかにするために、流れがある紀ノ川大堰上流と流れがない船戸地点において現地調査を実施した。

2. 調査の概要

(1) 現地調査対象地域

調査は2005年3月15日から7月25日にかけて実施した。本研究では水流がある水域とない水域の違いを明らかにするため、船戸（流水域）と紀ノ川大堰上流（停滞水域）の2地点で水質調査を実施した（図-1参照）。船戸は大堰よりも上流に位置し、2地点間の距離は約10 kmである。調査頻度は定期調査として、1ヶ月に1度の割合のものに加え、集中観測として4月（13日から19日）と7月（13日から25日）の期間中に毎日の水質調査を実施した。水質調査は、現地測定と室内分析がある。現地測定は定期調査と集中観測の全調査日に実施した。室内分析は定期調査では毎回、集中観測では2日に1度の割合で実施した。また、1日の水質の時間変化を考慮するため、採水時刻を船戸では午前11時、堰上流では正午と決めた。紀ノ川はわが国最多雨地域の太田ヶ原を水源としており、流域面積1,750km²、幹線流路延長136kmの一級河川である。

(2) 紀ノ川大堰の概要

紀ノ川大堰は2003年6月から水位運用が開始されている。また、紀ノ川大堰の総貯水容量は5,100,000m³である。紀ノ川大堰は可動堰であり貯水ゲートは全部で7門ある。中央5門は制水ゲート、両端の2門は流量調節ゲートと呼ばれ、出水時（40m³/s以上の時）は状況に見合った数の制水ゲート・流量調節ゲートが開放される。平水時は、堰の兩岸に設けてある魚道から約1 m³/sづつが放出されている。

(3) 調査期間中の降雨状況

図-2は紀ノ川中流部に位置する奈良県五条市におけるアメダス降水量データを示す。本研究は、紀ノ川大堰上流に形成された停滞水域における植物プランクトンの増殖過程を観測することを目的としているため、強い降雨を避ける必要がある。例えば、紀ノ川流域内で強い降雨があると、河川の水量増加にともない堰のゲート開放が行われる。その結果、堰上流に形成されていた停滞水域内の水塊が堰下流部（海域）に流されてしまい、それまでに、増殖していた植物プランクトンがリセットされるという問題がおきる。そのため、本研究の調査期間（とくに、集中観測期間中）は降水量が少ない期間を選定した。

3. 水質分析の概要

(1) 水質の調査方法

現地測定項目は、多成分水質計(AAQ1183, アレック電子社製)を用いて、pH、濁度(TB)、クロロフィルa(Chl.a, 蛍光強度法)、水温、溶存酸素量(DO)の鉛直分布を測定した。また、電気伝導度(EC)は、携帯用水質測定器(D-24, 堀場製作所製)を用いて測定した。採水は表層のみ（水深0.25m）で行った。採水は堰上流では右岸側、船戸は左岸側で行った。採水したサンプルは水中の生物活動やそれに伴う水質変化を抑えるため、クーラーボックス内で冷却した状態のまま、速やかに実験室に持ち帰り、室内分析を行った。今回の調査で採水したサンプルは、Chl.a、Pheo.a用に5 Lを1本、栄養塩用に250mlを1本、植物プランクトン観測用に500mlを1本である。

(2) 水質の分析方法

室内分析では、NO₃⁻-N（硝酸態窒素）、NO₂⁻-N（亜硝酸態窒素）、NH₄⁺-N（アンモニア態窒素）、T-N（全窒素）、PO₄³⁻-P（オルトリン酸態リン）、DSi（溶存態ケイ素）、Chl.a（クロロフィルa）、Pheo.a（フェオフィチンa）の分析を行った。

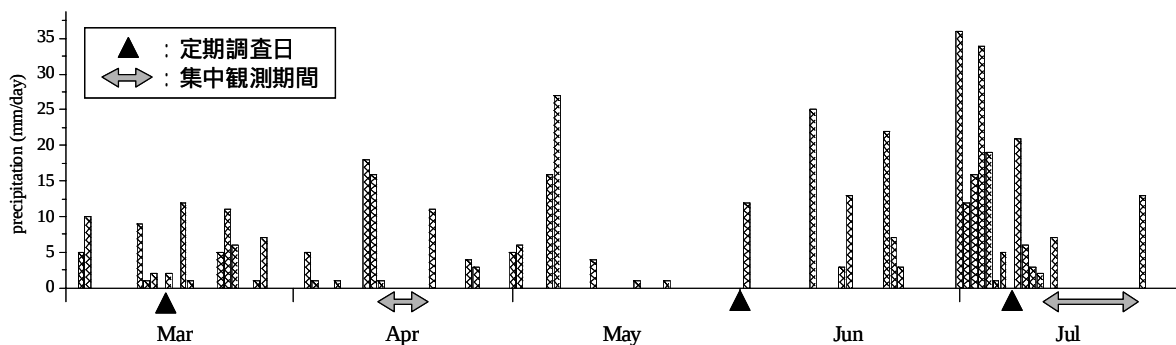


図-2 奈良県五条市のアメダス降水量変化（2005年3月-7月）

NO_3^- -N, NO_2^- -N, NH_4^+ -N, PO_4^{3-} -P, DSiは、サンプルに目的の測定項目専用試薬を入れ、比色させた後、項目ごとに決められた測定波長について吸光光度計（DR/2500, HACH社製）を用いて測定した。DR/2500はあらかじめ記憶している吸光度と濃度の検量線から、濃度を算出している。また、T-Nはサンプルに分解処理を施し（ペルオキシ二硫酸カリウム分解法）、有機態窒素をすべて硝酸イオン（ NO_3^- -N）に分解した後、硝酸態窒素についてDR/2500で測定した。

また、孔径 $0.45\mu\text{m}$ のメンブレンフィルターを通過したサンプルについてT-N分析をすることで、溶解性窒素（DN）を測定した。さらに、T-NからDNを差し引くことで、粒子性有機態窒素（PON）、DNから溶解性無機態窒素（ NO_3^- -N, NO_2^- -N, NH_4^+ -N）を差し引くことで、溶解性有機態窒素（DON）を求めた。

Chl.a, Pheo.aはガラス繊維濾紙（GF/B, Whatman社製、孔径 $1\mu\text{m}$ ）を用いて、サンプルを1～2.5 L程度濾過させた後、濾紙上の残留物とともに、濾紙をN,N-ジメチルホルムアミド（DMF）に浸し、植物プランクトンの光合成色素を抽出した。その抽出液の吸光度をDR/2500を用いて測定した。吸光度の測定波長およびChl.a, Pheo.aの算出式はLorenzenの方法を用いた⁴⁾。なお、Chl.aの測定値について、実験室で行った吸光光度法と現場で簡易に測定できる蛍光強度法との補正式を作成し、蛍光強度法によるN値を補正式に代入して導かれたChl.a値を用いた。

(3) プランクトンの計数・同定方法

プランクトン観察用に採水したサンプルは、現地において、サンプルの5%量に値するピクロホルマリンを入れ、植物プランクトンを固定した⁵⁾。ピクロホルマリンとは、ホルマリンをピクリン酸で飽和させたものである。ピクロホルマリンを固定剤として使用することで、ホルマリンでは破壊されていた外殻をもたない渦鞭毛藻も固定することができる。固定したサンプルは実験室に持ち帰り、静置沈殿法により濃縮を行い⁵⁾、500mlから10mlまで濃縮した。

10mlまで濃縮したサンプルは植物プランクトン分布を均一にするために攪拌し、スポイトでとり、計算盤（改良ノイバウエル型）の上に載せる。そして、測定する計算盤は、位相差顕微鏡（ECLIPSE E200 ニコン株式会社製）に取り付け、植物プランクトンの計数・同定を行った。また、計算盤の枠内におさまるサンプルの容量は 0.9mm^3 と決まっているため、規定の枠内で観察された植物プランクトン数を計測することで、濃縮前の試料に含まれていた植物プランクトン個体数を算定した。同定方法は、顕微鏡で観察された形から（ 10×40 倍）、日本淡水産動植物プランクトン図鑑に従い分別した⁶⁾。

4. 水質変化の結果

(1) 船戸・堰上流における水温変化

図-3に船戸と堰上流における水温の変化を示す。水温は堰上流で4月の集中観測期間中に13.2 から17.7に上昇している。また、7月の集中観測期間中には24.0 から30.4 に上昇しているが、7月16日の時点で、7月の期間中の最高値近く（29.3）にまで達している。つまり、河川水の水温は降雨がない時に上昇することがわかった。また、船戸と堰上流を比較すると、堰上流の水温は、船戸に比べて常に少し高い値を示している。これは、停滞水域にある水は流水域にある水よりも太陽の放射熱によって温まりやすい性質をもっていることを示している。

(2) 船戸・堰上流におけるChl.a, DO, pHの変化

図-4に船戸・堰上流におけるChl.aの変化を示す。4月には船戸と堰上流の両地点で値の上昇がみられなかった。しかし、堰上流において6月1日に高い値を示した。また、7月13日から値が上昇し、17日から18日への一時的な減少がみられるものの、22日に最高値（ $95\mu\text{g/l}$ ）を示した。船戸においても7月の集中観測中に値の上昇がみられたが、堰上流に比べて小さい値（最高値：7月25日に $23\mu\text{g/l}$ ）であった。

船戸と堰上流におけるDOとpHの変化（図-4参照）は類似した点が多くみられた。例えば、7月13日から16日にかけての変化で、堰上流におけるpHとDOが急激な上昇を示している。また、船戸のDOとpHは7月19日と20日に減少していた。船戸と堰上流を比較すると、7月15日以前の調査では、大きな差は見られなかった。しかし、7月15日以降は、船戸と堰上流の間に明白な差がみられ

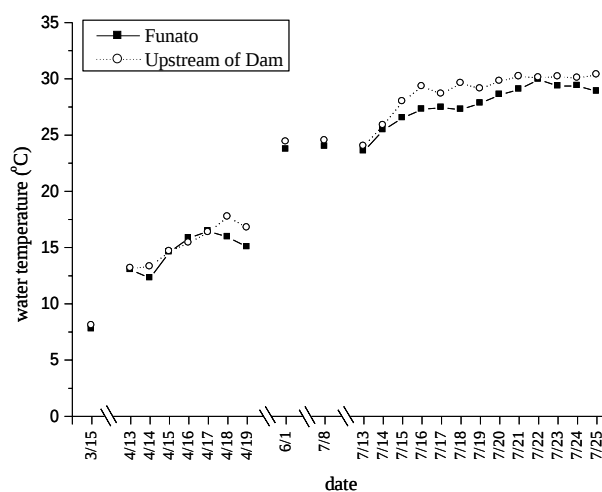


図-3 船戸と堰上流における水温変化

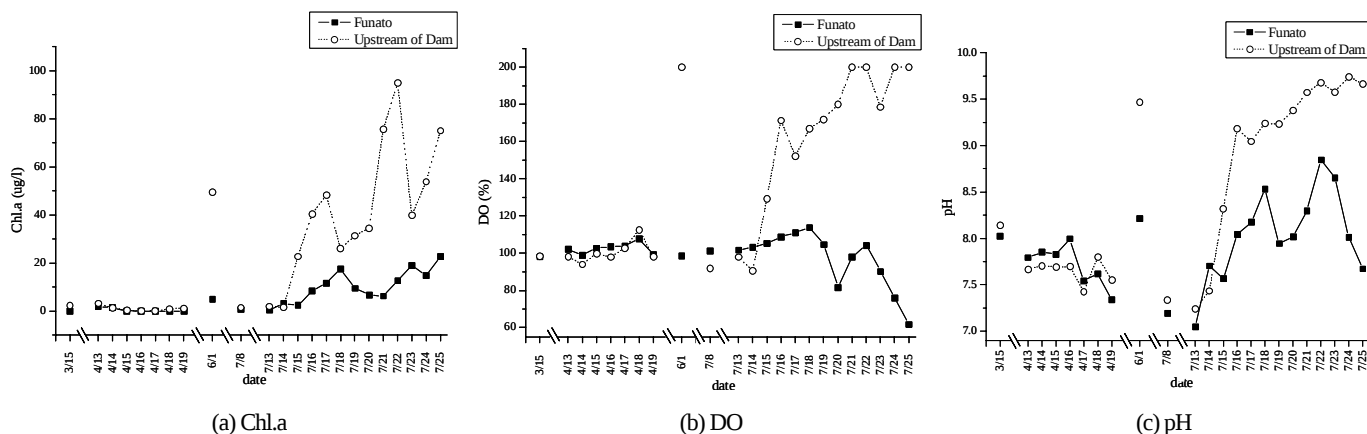


図-4 船戸と堰上流における水質項目の時間変化

た．堰上流のDOは7月21日，22日，24日，25日の4日に200%以上を示した．また，pHでは7月13日には7.2であったが，3日後の16日には9.2まで急激に上昇し，24日には7月の集中観測期間中の最高値である9.7にまで達している．一方，船戸ではDO，pHともに堰上流ほどの大きな変化はみられず，DOは7月18日の114%，pHが7月22日の8.8が最高値であった．

また，Chl.aの上昇とDO，pHの上昇から植物プランクトンによる光合成の活動が活発化していることが分かる．とくに，堰上流では7月16日以降に，光合成の活動が非常に活発に行われている．船戸でもChl.a，DO，pHの変化から光合成が行われていることがわかるが，その変化は堰上流と比べて小さく，光合成もそれほど活発でない．この理由として，流速が極めて遅い停滞水域は植物プランクトンにとって容易に水面近くに浮遊しつづけることができ，効率的に光合成したためであると考えられる．

Chl.a，DO，pHの変化から一時的な停滞水域の形成により，光合成による水質変化が大きく生じていることが明らかとなった．しかし，船戸におけるpHも比較的高い値を示しており，紀ノ川に数多く建設された堰，頭首工などの停滞水域における変化と考えられる．

5. 植物プランクトンの結果

(1) 植物プランクトンの種構成変化

植物プランクトン個体数および種構成変化を図-5に示す．7月8日まで，植物プランクトン個体数が少ないことや7月の集中観測期間中の増加は，Chl.a，DO，pHの変化で示した光合成の活動の変化と一致する．また，植物プランクトンの種別（藍藻，珪藻，緑藻，渦鞭毛藻に分別）の変化をみると，珪藻と緑藻は調査を実施した期間中に船戸と堰上流で観察された．一方，藍藻は7月初旬まで，ほとんど観察されていないが，7月の集中観測期間に，船戸では7月16日，堰上流では頻繁に観察されるようになった．さらに，7月22日には堰上流において藍藻が急激な増加をしたが，それ以後は大きな増減は

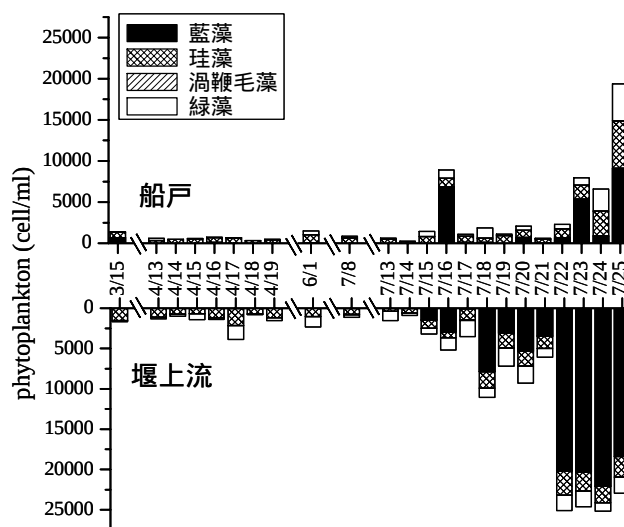


図-5 船戸と堰上流における植物プランクトンの個体数・種構成変化

みられなかった．また，船戸の植物プランクトン個体数は，7月22日以降，堰上流に比べて増加の割合が小さく，これはChl.a，DO，pHで示した光合成の活動速度の相違と一致する．しかし，7月25日には藍藻の増加とともに，緑藻や珪藻も増加した．この変化に関しては，晴天がしばらく続き流量が減少することにより，船戸よりも上流域における水質変化が影響したと考えられる．

植物プランクトンの種構成の変化は，一般的に水温依存によって決定されており，藍藻は珪藻よりも高い水温での増殖を好むことがわかっている⁷⁾．珪藻と藍藻の種構成の水温依存性の変化は，同地点における4月と7月の集中観測期間中の植物プランクトン個体数・種構成変化と水温変化（図-3参照）を比較すれば，明らかである．また，今回の植物プランクトンの結果から，船戸と堰上流にみられるように，水域の流速によって植物プランクトンの個体数・種構成に違いが大きく表れることがわかった．

(2) 珪藻プランクトンの個体数・種構成変化

図-6に船戸と堰上流における珪藻プランクトンの個体数・種構成変化を示す。前節で述べたように、珪藻プランクトンは調査開始当初から水域内に生息していることがわかった。種構成について3月から6月の間は *Navicula sp.* と *Pinnularia sp.* が優先種であった。これは、船戸と堰上流で共通している。7月の集中観測期間に入ると船戸と堰上流において個体数の増加過程に差があらわれた。7月13日から22日までは堰上流において個体数の増加がみられるが、船戸では増加はみられなかった。また、7月22日以降は、船戸において個体数の急激な増加がみられるが、堰上流では大きな変化はみられなかった。

珪藻プランクトン個体数が増加している7月の種構成変化をみると、まずは *Cyclotella sp.* が増加している。さらに、植物プランクトンの個体数の増加がすすむと、*Nitzschia sp.* が増加していることがわかる。また、春に優先種であった2種類の珪藻プランクトン (*Navicula sp.* と *Pinnularia sp.*) はこの期間中も引き続き生息している。

(3) 藍藻・緑藻プランクトンの個体数・種構成変化

藍藻プランクトン・緑藻プランクトンの個体数・種構成の変化を図-7、図-8に示す。

藍藻は、7月の堰上流で異常に増殖している。また、堰上流と船戸で観察された藍藻プランクトンのほとんどは *Merismopedia sp.* であった。また、藍藻は水温が25 の時がもっとも増殖しやすいため、7月の集中観測中には大きく増殖しているが、船戸と堰上流の個体数の差については珪藻や緑藻よりも明確なことから、藍藻は他の種の植物プランクトンよりも水の流速の違いによる影響を受けやすいことがわかる。

緑藻は個体数に関していえば、珪藻とよく似た変化を示した。緑藻の優先種は春から夏にかけて変化せず、*Gloeocystis sp.* と *Scenedesmus sp.* であった。また、植物プランクトン個体数が急激に増加した期間をみると、*Scenedesmus sp.* が増加していることがわかる。

6. 植物プランクトンと栄養塩の関係

(1) 珪藻プランクトンとDSi濃度の関係

船戸と堰上流におけるDSi濃度の変化を図-9に示す。7月の集中観測期間中における船戸と堰上流のDSi濃度の比較をすると、船戸が堰上流より高い値を示していることから、船戸から堰上流に至るまでに、DSiが消費されていることがわかる。また、同じ期間中の堰上流の珪藻プランクトン個体数をみると、増加していることから(図-6参照)、紀ノ川大堰上流の停滞水域および船戸からの流下過程において、DSiが珪藻プランクトンに吸収されていることがわかる。この結果は、下流へのDSi

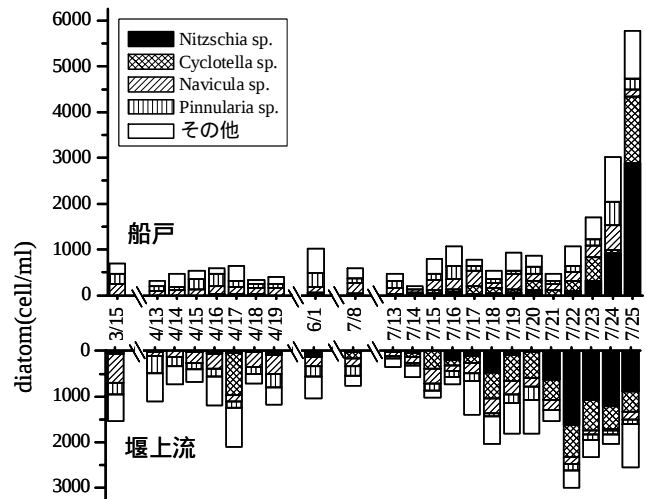


図-6 珪藻プランクトンの個体数・種構成変化

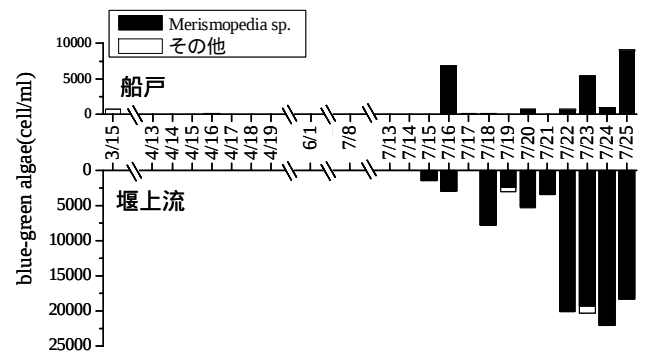


図-7 藍藻プランクトンの個体数・種構成変化

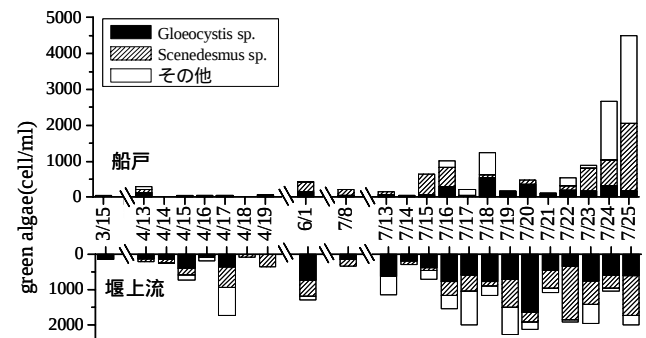


図-8 緑藻プランクトンの個体数・種構成変化

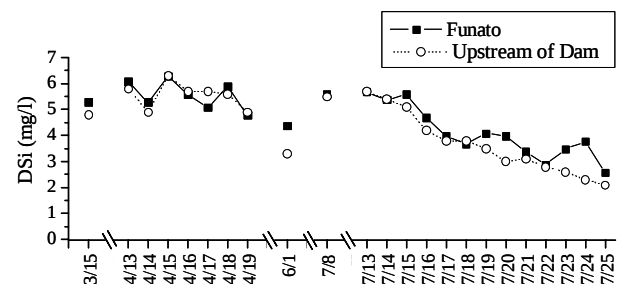


図-9 DSi濃度の時系列変化

輸送量が減少する「シリカシンク」を示すデータであり、海域での生態系に対する影響が懸念される。また、堰上流では船戸にくらべ、光合成の活動が活発化していることがわかっているが、DSi濃度に関していえば船戸も堰上流と同様に減少している。これは、船戸より上流に位置する多くの停滞水域（堰や頭首工）において、DSiが消費されたためであると考えられる。

(2) 植物プランクトンと窒素形態別変化の関係

図-10は船戸と堰上流における窒素の形態別変化を示す。7月の集中観測では船戸・堰上流の両地点で硝酸イオンの減少が著しいことが分かる。また、堰上流と船戸で違う点は、7月22日以降のPONの変化である。PONの増加は船戸より堰上流で顕著にあらわれている。これは、停滞水域と流水域における植物プランクトンの増殖速度の違いによるものである。アンモニア態窒素や亜硝酸態窒素に関しては、植物プランクトンが急激に増加している時期（7月22日-25日）に検出されているが、硝酸態窒素の変化に比べるとその値は非常に小さい。また、T-Nをみると、船戸では一貫して減少傾向であるのに対して、堰上流では7月19日を最小値にして、再び増加している。これは、船戸より下流に広がる住宅地から排出された生活排水あるいは堰上流の堆積物からの溶出により、栄養塩が水中に供給されたと考えられる。

7. おわりに

本研究は、停滞水域と流水域での植物プランクトン個体数・種構成の変化について示した。その結果、水温が低い時期は停滞水域と流水域ともに珪藻・緑藻が優先種として存在していた。しかし、水温が高い時期の珪藻、緑藻の増加速度が緩やかなのに対して、藍藻は停滞水域において急激な増加を示した。そのときの藍藻プランクトン内での優先種は*Merismopedia sp.*であった。同時に珪藻プランクトン、緑藻プランクトンにおいても優先種がみられ、それぞれ*Nitzschia sp.*、*Scenedesmus sp.*であった。一方、栄養塩との関係についてみると、DSiと硝酸態窒素が植物プランクトンの光合成によって消費されていることがわかった。また、堰上流と船戸を比較すると、植物プランクトンでは違いがみられたが、栄養塩については類似した変化を示した。これは、船戸より上流に位置する停滞水域の影響と考えられる。このことから、河川の水質変化を考えるためには、水域全体を考慮する必要がある。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金(若手(B), 15760380, 代表：石塚正秀)の援助を得たことを示す。

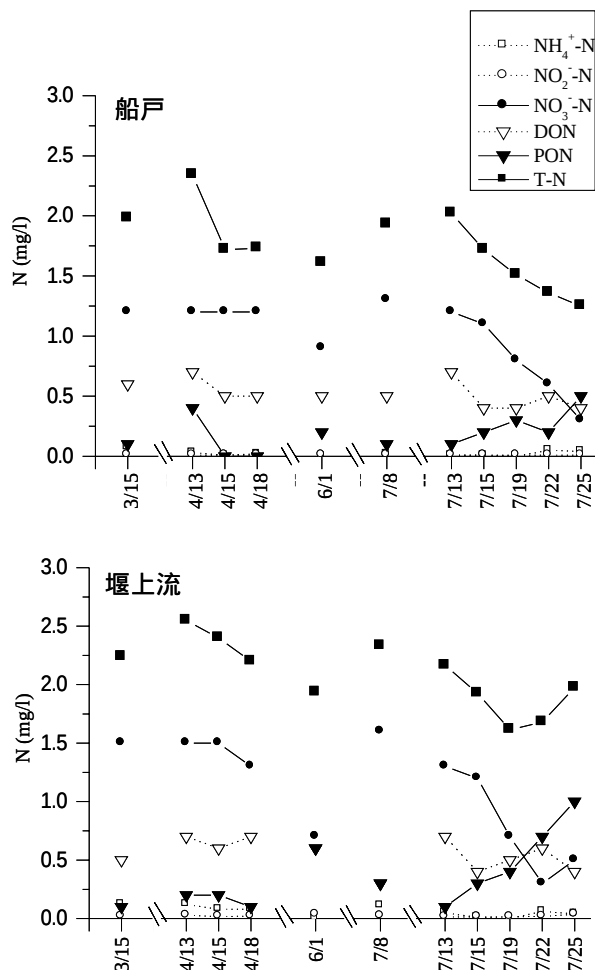


図-10 窒素の形態別変化（上段：船戸，下段：堰上流）

参考文献

- 1) IPCC. Climate Change and Biodiversity, edited by H., Gitay, A., Suárez, R. T., Watson, and D. J. Dokken, IPCC, Geneva, Switzerland, p.85, 2002.
- 2) Ittekkot, V.: Hydrological Alterations and Marine Biogeochemistry: A Silicate Issue?, BioScience, 50 (9), pp.776-782, 2000.
- 3) 石塚正秀・寺本健士・紺野雅代・井伊博行・平田健正：紀ノ川下流の淡水域・汽水域における冬季から夏季の栄養塩・植物プランクトンの現地調査，土木学会水工学論文集，第49号，第2号，pp.1519-1524，2005.
- 4) (社) 日本水道協会：上水試験方法，pp.565-566，2001.
- 5) 気象庁 編：海洋観測指針（第1部），pp.109-111，（財）気象業務支援センター，1999.
- 6) 田中正明：日本淡水産動物プランクトン図鑑，（財）名古屋大学出版会，2002.
- 7) 有賀祐勝：水界植物群落の物質生産，生態学講座8，（株）共立出版，p.51，1973.

(2005.9.30受付)