

紀ノ川流域のダム・堰における植物プランクトンと全窒素・カルシウムイオンとの関係

INFLUENCE OF PHYTOPLANKTON BY TOTAL NITROGEN AND CALCIUM ION AT DAM AND WEIR IN THE KINOKAWA RIVER BASIN

岩根良和¹・井伊博行²・谷口正伸³

Yoshikazu IWANE, Hiroyuki II, Masanobu TANIGUCHI

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)

³正会員 博(工) 和歌山大学助教 システム工学部環境システム学科 (〒640-8510 和歌山市栄谷930)

The phytoplankton and their species were analyzed in the Otaki dam, the Sarutani dam and the Kinokawa flood gate. The Otaki dam, the Sarutani dam and the Kinokawa flood gate are stagnant condition. Ca^{+} concentrations in the Otaki dam and the Kinokawa flood gate were over 11 mg/l. Ca^{+} concentration in the Sarutani dam was equal to or less than 10 mg/l. Total nitrogen concentration in the Kinokawa flood gate was over 0.8 mg/l. Total nitrogen concentration in the Otaki dam and the Sarutani dam was equal to or less than 0.7 mg/l. In summer season blue-green algae increased in the Kinokawa flood gate but dinoflagellate did not increase. On the other hand, dinoflagellate increased in the Otaki dam. Then, blue-green algae increased, when total nitrogen concentration is over 0.8 mg/l. Dinoflagellate increased, when Ca^{+} concentration is over 11 mg/l.

Key Words : phytoplankton, nutrient, Ca^{+} , dinoflagellate, blue-green algae, stagnant condition

1. はじめに

都市化や産業の発達に伴い、人々の生活は便利になってきた。しかし、その一方で環境へ与える負荷も大きくなってきており、地球温暖化や砂漠化、大気汚染、水質汚染といった環境問題が生じている。その中でも、水質汚染は我々が身近に感じる問題のひとつである。水質汚染の一例として富栄養化がある。富栄養化による水質の悪化は、停滞水域において顕在化している。これらの水域における水質の悪化は、その下流に位置する河川や海域の水質悪化にもつながるため、積極的に取り上げられてきている。一方、山地上流域に位置するダム・貯水池での、水質変化に関しては人為的な影響が少ないと考えられていたため、これまであまり着目されていなかった。しかし、近年人為的影響の少ない山地上流の停滞水域においても淡水赤潮が発生するなど、水質の悪化が進んでいることが重要な問題として注目を浴びてきている。紀伊半島の北部に位置する紀ノ川においても、1970年代の高度経済成長期における都市化の進展にともない安定した大量の水と電力を生み出すために多目的ダムが建設さ

れており、紀ノ川上流部にある大滝ダムにおいても2006年11月に淡水赤潮が発生した。そこで、本研究では、大滝ダムや猿谷ダム、紀ノ川大堰が紀ノ川流域に与える影響を植物プランクトンの種構成の変化や増加と栄養塩、各種イオン濃度の変化から考察することを目的とする。

2. 現地調査の概要

(1)調査概要

調査対象地域を図-1に示す。また、1日の水質の時間変化を考慮するため毎回同じ時刻で採水している。大迫ダム直下、大滝ダムの水質調査日は、2006年4月から8月と2006年10月から2007年3月まで行った。猿谷ダムの水質調査日は、2006年7月から2007年2月まで行った。紀ノ川大堰上流、紀ノ川大堰の水質調査日は、2006年4月から6月、8月から10月、12月から2007年1月まで行った。

(2)現地概要

紀ノ川はわが国最多雨地域の大台ヶ原を水源としており、中央構造線に沿って紀伊半島の中央部を流れ、各支

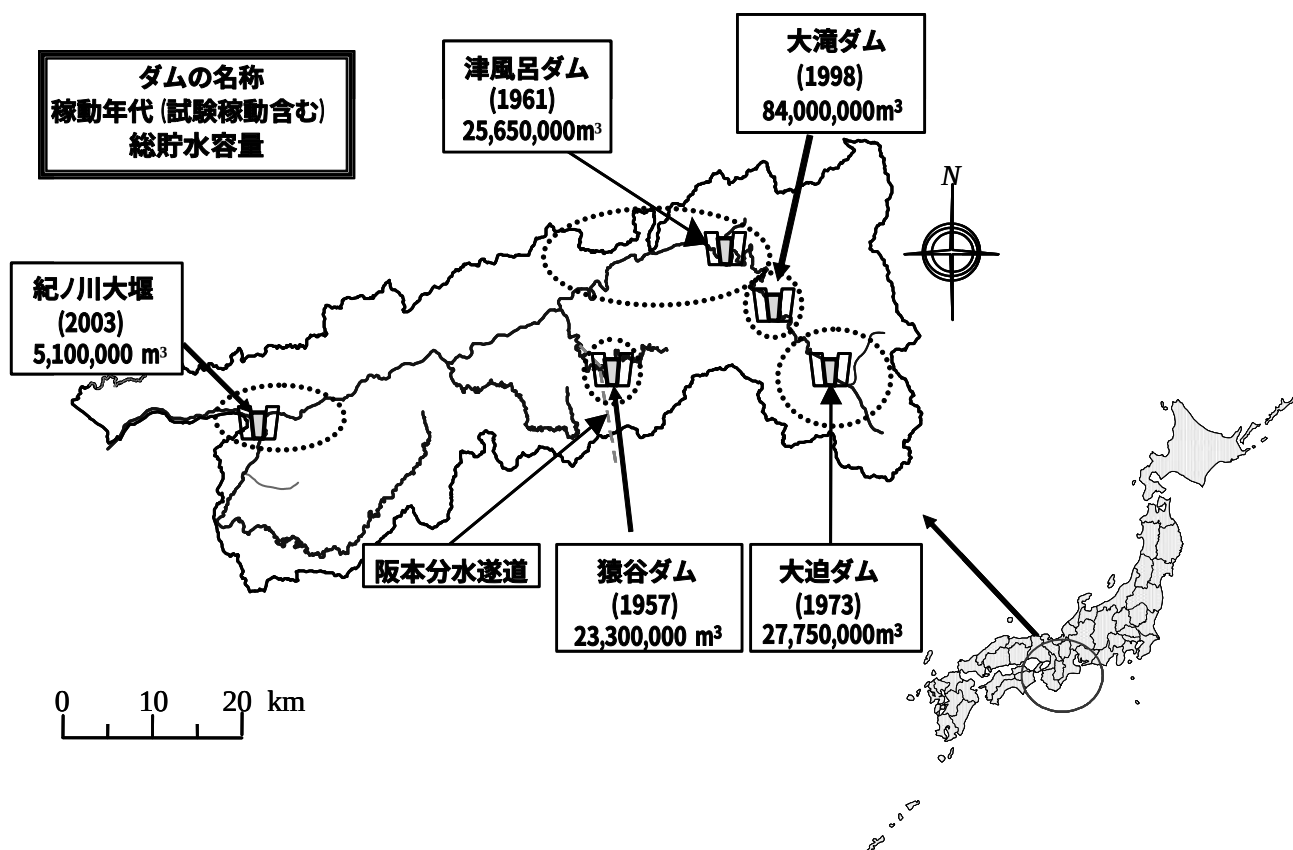


図-1 調査地概要

流と合流しながら紀伊平野、紀伊水道に注ぐ流域面積 1750 km²、幹線流路延長136 kmの一級河川である。上流部は奈良県、下流部は和歌山県にまたがり、和歌山市や橋本市、五條市などを流域にもつ。降水量は上流水源地帯に多く、下流に行くにしたがって少なくなっており、平均年降水量は約1600 mmで全国平均とほぼ同じであるが、上流では下流の2～3倍になっている。流域の形状は東西に細長く、紀ノ川の本川に合流する支川の数が181本もある。また、河川勾配は急で、大雨が降れば水が一気に流れ出し、日照りが続けば川の水が少なくなるなどの特徴もっている。

大滝ダムは奈良県吉野郡川上村に位置する貯水容量は 84,000,000 m³ (有効貯水量 76,000,000 m³) の多目的ダムである。観測場所は大迫ダム直下を含む上流部4地点、大滝ダムサイト、下流部7地点である。大迫直下、大滝ダム下流部は堰やダムなどが無い流水域である。

猿谷ダムは奈良県吉野郡大塔村に位置しており、貯水容量は 23,300,000 m³ (有効貯水量 17,300,000 m³) の貯水用ダムである¹⁾。猿谷ダム流域全体の土地利用状況は、その大部分が森林で占められており、ダム湖内において生活排水などの人為的影響は極めて少ないと考えられる。観測場所は猿谷ダムサイトである。

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 5,100,000 m³ である。紀ノ川の最下流部にあり、河口から約7 kmの地点に

位置し、また、紀ノ川大堰周辺には多くの住宅があることから、生活排水によって河川中に供給される栄養塩量が多いことが予想される。観測場所は紀ノ川大堰上流、紀ノ川大堰である。

3. 水質分析の概要

(1) 水質の調査方法

水質調査は、現地測定と室内分析がある。現地測定項目は、携帯用水質測定器(D-24、堀場製作所製)を用いて、水温、pH、電気伝導度(EC)、酸化還元電位 (ORP) を測定した。また、採水は表層のみ (水深0.25 m) で行った。採水は大迫ダム直下、大滝ダムで表層、中層、底層の3地点、大滝ダム下流部で6地点、猿谷ダムで表層、中層、底層の3地点、紀ノ川大堰では右岸側、紀ノ川大堰上流は左岸側で行った。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、速やかに実験室に持ち帰り、室内分析を行った。

(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 (アンモニウム態窒素)、T-N (全窒素)、PO₄³⁻-P (オルトリン酸態リン) の分析を行った。

T-Nはサンプルに分解処理を施し(ペルオキソ二硫酸力

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, 吸光光度計 (DR/2500, HACH社製) を用いて測定した。

さらに採水サンプルは, 研究室に持ち帰り, $0.45\ \mu\text{m}$ のフィルターを通したあと, 溶存成分をイオンクロマトグラフィーで分析した。イオンクロマトグラフィーは, (株) 日本ダイオネクス社製を使用している。

(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²⁾。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²⁾, 500 mlから10 mlまで濃縮した。

10 ml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 $0.9\ \text{mm}^3$ 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³⁾。

4. 水質変化の結果

(1) 各地点におけるNa,Clイオン濃度の変化

NaイオンとClイオンは生活排水の影響の有無を調べる指標となるため分析を行った。各地点におけるNaイオンとClイオンの変化を図-2に示す。大迫ダム直下, 大滝ダム, 猿谷ダムなどの上流部においてはNaイオンが $2\ \text{mg/l}\sim 6\ \text{mg/l}$, Clイオンが $1\ \text{mg/l}\sim 5\ \text{mg/l}$ と比較的低い傾向が見られたが, 紀ノ川大堰ではNaイオンが $13\ \text{mg/l}\sim 17\ \text{mg/l}$, Clイオンが $6\ \text{mg/l}\sim 9\ \text{mg/l}$ と上流部と比べると濃度が高い傾向にあった。このように大迫ダム, 大滝ダム, 猿谷ダムでは同じような傾向を示したが, 紀ノ川大堰では違う傾向を示している。しかし, 一度大滝ダム下流でNaイオンの濃度が $11\ \text{mg/l}$ と高い値を示した。

(2) 各地点におけるCaイオン濃度の変化

各地点におけるCaイオン濃度の変化を図-3に示す。猿谷ダム以外ではほぼ似たような傾向を示しており, 10月から12月まで増加し, その後緩やかに減少している。またその濃度は低いときで $11\ \text{mg/l}$, 高いときでは $20\ \text{mg/l}$ と

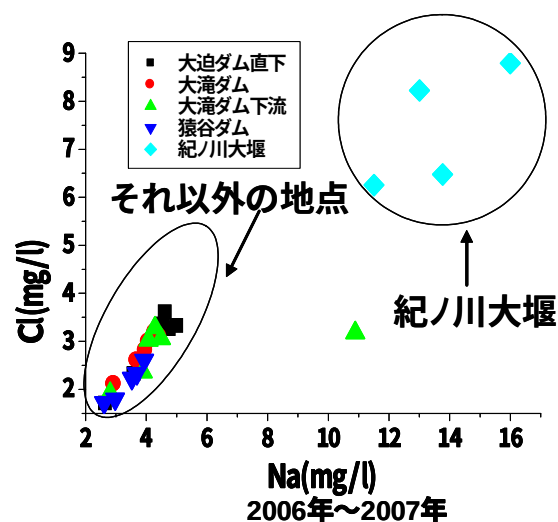


図-2 各地点における年間のNa,Clイオン

比較的高い傾向を示していた。

一方, 猿谷ダムを見てみると10月から11月にかけて一旦は増加が見られたがその後減少していた。またその濃度も低いときで $5\ \text{mg/l}$, 高い濃度のときでも $10\ \text{mg/l}$ であり, 大滝ダムや紀ノ川大堰と比較すると非常に低い濃度であった。猿谷ダムと他の地点との差は大きい時で $8\ \text{mg/l}$ であった。

(3) 各地点における地質構造

各地点における地質構造を50万分の1土地分類図 (表層地質図)⁴⁾ に従い比較すると大迫ダム, 大滝ダムでは大部分が緑色岩や黒色片岩で構成され石灰岩が所々に見られる。石灰岩は CaCO_3 を主体とする岩石である。猿谷ダムではその大部分がチャートで占められている。この鉱物の主成分は SiO_2 である。紀ノ川大堰では砂礫や粘土で占められていた。この地質構造の違いにより大滝ダムと猿谷ダムにおいてCaイオン濃度に差が出たのではないかと考えられる。大迫ダム, 大滝ダムでは石灰岩からCaイオンが河川に容易に流出するが, 猿谷ダムではCaイオンを流出する石灰岩がほとんどなく, そのために低いCaイオン濃度しか検出されなかったと考えられる。しかし, 紀ノ川大堰でCaイオンが猿谷ダムより多いのは地質以外に生活排水や農地からの影響も考えられる。

(4) 各地点におけるT-Nの季節変化

窒素濃度は植物プランクトンの増殖因子になるため分析を行った。各地点におけるT-Nの季節変化を図-4に示す。これを見てみると大迫ダム直下では低いときで $0.3\ \text{mg/l}$ であり, 高いときでも $0.5\ \text{mg/l}$ しかなく, 濃度にそれほど大きな季節変化は見られず, 全体的に低い傾向にあった。大滝ダムでは, ほとんどの月では $0.7\ \text{mg/l}$ 程度の濃度を保っているが, 6月, 10月に $0.5\ \text{mg/l}$ まで減少し, 2月には $0.4\ \text{mg/l}$ まで減少した。

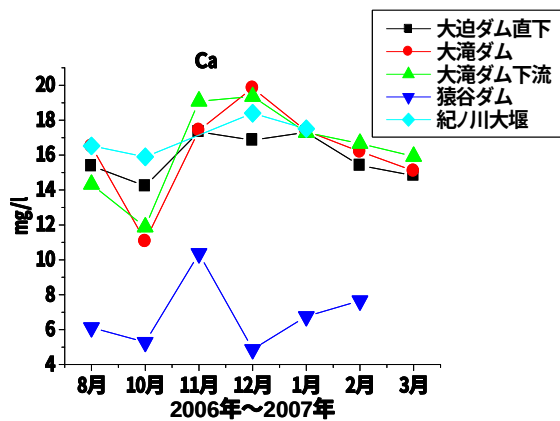


図-3 各地点におけるCaイオンの季節変化

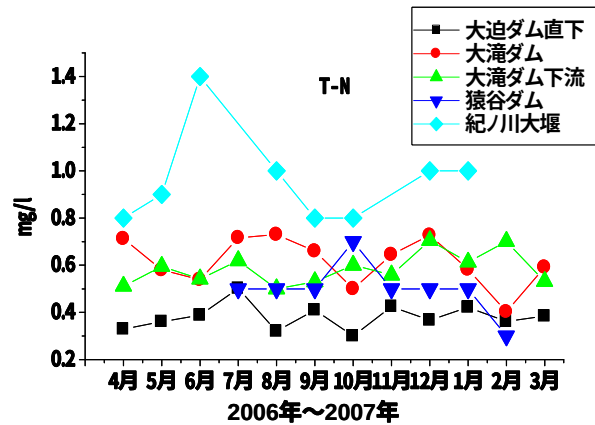


図-4 各地点におけるT-N濃度の季節変化

大滝ダム下流では、低いときで0.5 mg/lであり、高いときでも0.7mg/lで大迫ダムよりも高い濃度であるが、大迫ダム直下と同様に大きな季節変化は見られなかった。大迫ダム直下、大滝ダムとその下流部では年間を通じて大滝ダムの濃度が他の地点より高い時期があった。特に7月、8月、9月と夏場に大きな差が出ていた。

猿谷ダムを見ると10月に0.7 mg/lまで増加し、2月に0.3 mg/lまで減少したが、その他の月では0.5 mg/lであり、それほど大きな季節変化は見られず、大滝ダムよりやや低い濃度で推移していった。

紀ノ川大堰では、6月に濃度が1.4 mg/lまで増加したが8月には0.8 mg/lまで減少し、その後大きな季節変化はなかった。紀ノ川大堰では絶えず、大滝ダムや猿谷ダムよりも高い濃度のT-Nが検出された。低いときでは濃度の差は0.1 mg/lであったが高いつきでは0.9 mg/lの差が見られた。

(5) 水質のまとめ

水質の結果をまとめると、Na, Clイオン濃度は大迫ダム直下、大滝ダム、猿谷ダムと紀ノ川大堰では異なる傾向が得られた。さらにT-N濃度の季節変化を見てみると大迫ダム、大滝ダム、猿谷ダムと紀ノ川大堰ではその濃度に差があった。このため、大迫ダム直下、大滝ダム、猿谷ダムでは岩石などの溶出や雨や植物などの自然由来による流入により、Na, Clイオンや窒素が検出されるが、紀ノ川大堰では岩石などの溶出や自然由来による窒素の流入にくわえ、他の地点と比べると住宅地が多いために生活排水の流入が多くあるためにその濃度が増加したと考えられる。また、Caイオン濃度の差は大迫ダム、大滝ダムと猿谷ダムでは地質構造の違いによりその濃度に大きな差があったが、紀ノ川大堰では地質構造の違いはあるが上流部からのCaイオンの供給に加え、Na, Clイオンと同様に生活排水等の影響により猿谷ダムと比べると高い濃度が検出されたと考えられる。

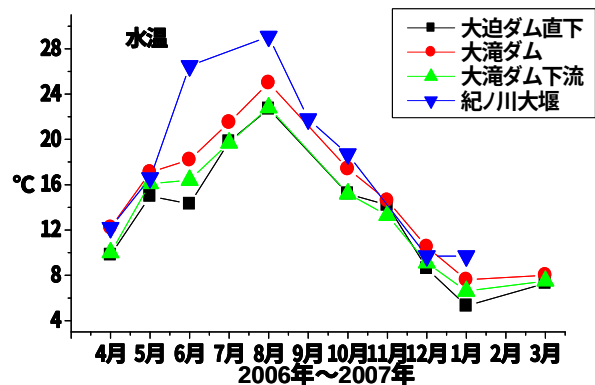


図-5 各地点における水温の変化

5. 植物プランクトンの結果

(1) 珪藻プランクトンの個体数・種構成変化

珪藻プランクトンの個体数の変化を図-6に示す。この図を見てみると各地点とも一定の珪藻プランクトンが存在していることがわかる。大迫ダム、大滝ダムにおいて5月、6月、8月に増加が見られるもののそれほど大きな季節変化は見られなかった。一方大滝ダム下流部を見てみると上流部よりも多い珪藻プランクトン数が観察された。大滝ダムやその上流部や下流部でよく見られた種としては*Thalassiosiraceae* sp.であった。

猿谷ダムでは9月を除くとそれほど大きな季節変化は見られなかった。猿谷ダムにおいて9月に珪藻プランクトンが増加したが、その時に主に見られた種としては*Asterionella* sp.や*Synedra* sp.であった。*Asterionella* sp.や*Synedra* sp.は主に停滞水域で見られ、比較的大型の珪藻類であり浄水場のろ過設備に目詰まりをおこし、ろ過機能に障害を引き起こす要因ともなる種である。

紀ノ川大堰では1月に増加がみられたものの、それほど大きな季節変化はみられなかった。主にみられた種としては*Navicula* sp.と*Cymbella* sp.であった。これらの種は

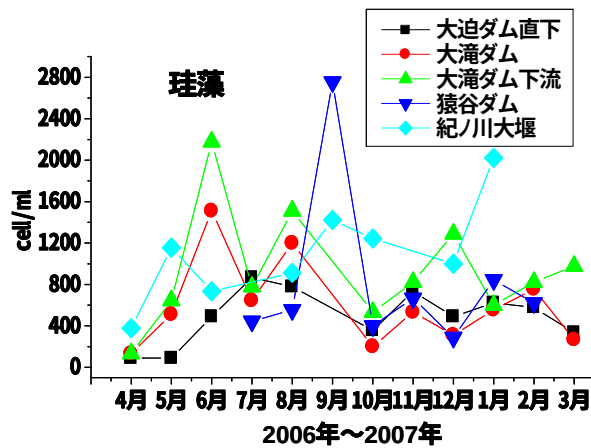


図-6 各地点における
珪藻プランクトンの個体数の変化

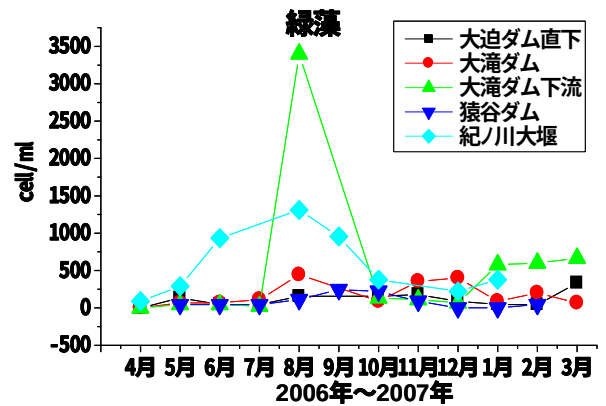


図-7 各地点における
緑藻プランクトンの個体数の変化

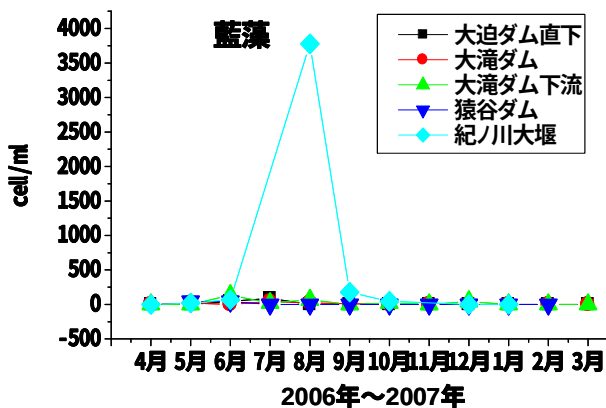


図-8 各地点における
藍藻プランクトンの個体数の変化

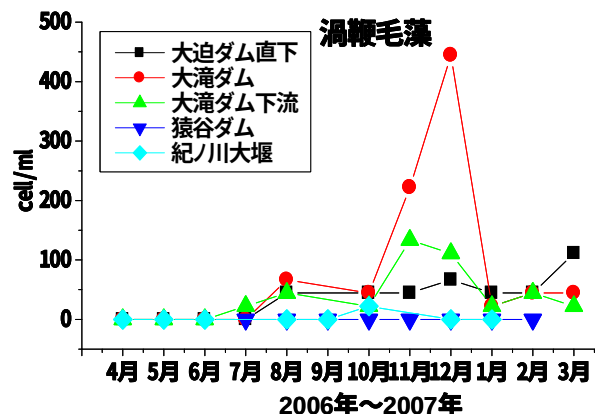


図-9 各地点における
渦鞭毛藻プランクトンの個体数の変化

流水域、停滞水域いずれでも見られる種である。また1月に多くみられた種としては他に*Fragilaria sp.*が観察された。この種も流水域、停滞水域いずれでも見られる種である。本来、植物プランクトンは一般的には春から夏にかけて発生する種が多いが、*Fragilaria sp.*は秋から冬にかけて出現しやすい種である。

(2) 緑藻の個体数・種構成の変化

緑藻プランクトンの個体数の変化を図-7に示す。この図を見てみると夏場に増殖しやすい傾向が見られる。大迫ダム直下と大滝ダムではそれほど多くの緑藻プランクトンは観察されなかった。大滝ダム下流部では8月に緑藻プランクトンが増加した。このとき増加した緑藻プランクトンは*Gloeocystis sp.*であった。流水域でもあまり影響を受けにくい種であると考えられる。また、猿谷ダムを見ると大滝ダムと同様にほとんど緑藻プランクトンは見られなかった。

紀ノ川大堰を見てみると6月、8月、9月と緩やかに増加が見られた。この時に見られた種は*Scenedesmus sp.*であった。この種はほぼ年間を通じて観測されやすい種で

あり、池や湖沼などで良く見られる種である。

(3) 藍藻の個体数・種構成の変化

藍藻プランクトンの個体数の変化を図-8に示す。藍藻プランクトンは大迫ダム直下、大滝ダム、猿谷ダムではほとんど見られなかった。一方、紀ノ川大堰では8月に藍藻プランクトンの増加が見られた。藍藻プランクトンは他の種よりも高い水温を好み⁵⁾、水の流れに影響されやすいが⁶⁾、大迫ダム、大滝ダム、猿谷ダムではほとんど見られなかった。紀ノ川大堰では少ない時でもT-N濃度が0.8 mg/lあったが大滝ダム、猿谷ダムでは高いときでも0.7 mg/lでほとんどがそれより低い濃度であった。そのためにT-N濃度の差が原因で大滝ダム、猿谷ダムではほとんど藍藻プランクトンが発生しなかったと考えられる。さらに、図-5は各地点における水温の変化を示した図であるがこれを見ると藍藻プランクトンが増加した2006年8月に紀ノ川大堰で水温が他の地点より高い28℃を示しておりこの水温の差も影響していると考えられる。また、紀ノ川大堰で観測された藍藻プランクトンのほとんどは*Chroococcus sp.*であった。この種は主に夏場に発

表-1 まとめ

	大迫ダム直下	大滝ダム	大滝ダム下流部	猿谷ダム	紀ノ川大堰
T-N	低	低	低	低	高
Ca	高	高	高	低	高
優先種	珪藻	渦鞭毛藻	緑藻	珪藻	藍藻
水域環境	流水域	停滞	流水域	停滞	停滞

生しやすい種である。

(4) 渦鞭毛藻の個体数・種構成の変化

渦鞭毛藻プランクトンの個体数の変化を図-9に示す。渦鞭毛藻プランクトンは大滝ダムでその数が夏から冬にかけて増加している。これまで見た植物プランクトンでは夏場にその個体数が増加するという傾向が見られたが、渦鞭毛藻プランクトンは8月から増加がみられ、12月まで増加した。渦鞭毛藻プランクトン個体数が増加している8月の種構成の変化をみると、*Peridinium sp.*が増加している。この種は多くのダム湖や天然湖で発生する種であり、大滝ダムではこの種の大量発生により淡水赤潮が発生した。本来、人里に隣接した水域でしばしば起こる淡水赤潮は、水の異臭味、ろ過池閉塞、魚類の死滅などの問題を引き起こす。これらの原因はおもに水域の富栄養化によるものである。これに対してこの種の赤潮は富栄養化と関係ない水域で多く起こっており、大滝ダムでも同様に発生した。

一方、同じダムである猿谷ダムや紀ノ川大堰では渦鞭毛藻プランクトンはほとんど見られなかった。図-4を見ると大滝ダムと猿谷ダムにおいてそれほどT-N濃度に差がないことがわかる。そのためT-N濃度はそれほど渦鞭毛藻プランクトンの増加の要因ではないと考えられる。そこで図-3を見ると大滝ダムと猿谷ダムにおいてCaイオン濃度に大きな差があることがわかる。渦鞭毛藻の鞭毛や殻などにはCaイオンが含まれておりCaイオンが渦鞭毛藻の増殖因子とも言われており⁷⁾、Caイオン濃度の差により大滝ダムでは渦鞭毛藻が多量に発生したと考えられる。一方、Caイオン濃度が同程度の紀ノ川大堰であまり発生しなかった。これは大滝ダムと紀ノ川大堰のT-N濃度（図-4参照）を比較すると紀ノ川大堰の方がT-N濃度が高く、栄養塩を必要とする種がいたために紀ノ川大堰では渦鞭毛藻が優占種ではなかったと考えられる。また、T-Nやカルシウムイオン濃度が同程度である大迫ダム直下や大滝ダム下流で大滝ダムほど増加が見られなかったのは流れによる影響があったと考えられる。

流域に与える影響を植物プランクトンの種構成の変化や増加と栄養塩、各種イオン濃度の変化から考察した。得られた結果を表-1に示す。その結果、停滞水域である大滝ダム、猿谷ダムにおいてはT-N濃度が同程度であったが、Caイオン濃度に大きな差があったために渦鞭毛藻プランクトンである*Peridinium sp.*の数に大きな差が出た。そのためCaイオンが渦鞭毛藻の増殖の要因の一つであることがわかった。一方、大滝ダムと紀ノ川大堰ではCaイオン濃度がほぼ同程度であったが、T-N濃度に大きな差があったために結果として*Peridinium sp.*が余り発生せず、夏場に藍藻プランクトンが増加した。このことから同じ停滞水域においてT-N濃度の違いにより藍藻の増加に影響がでることがわかった。T-N濃度が0.8 mg/l以上であると藍藻プランクトンが発生しやすく、T-N濃度が0.8 mg/l未満で、Caイオン濃度が11mg/l以上だと渦鞭毛藻プランクトンが増加しやすい環境であるということがわかった。

参考文献

- 1) 国土交通省：猿谷ダム水質調査業務報告書、1976～2002
- 2) 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土木学会編：土木工学における数値解析、流体解析編、サイエンス社、1974。
- 3) 田中正明：日本淡水産動植物プランクトン図鑑、（財）名古屋大学出版会、2002。
- 4) 国土庁土地局国土調査課：50万分の1土地分類図（表層地質図）
- 5) 有賀祐勝：水界植物群落の物質生産II、生態学講座8、（株）共立出版、p.51、1973。
- 6) 寺本健士・岩根良和・石塚正秀・井伊博行・平田健正：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、土木学会水工学論文集、第50号、pp.1111-1116、2006。
- 7) 小島貞男・須藤隆一・千原光雄編：環境微生物図鑑、講談社サイエンティフィック、p.352。

（2007.9.30受付）

6. おわりに

本研究は、大滝ダムや猿谷ダム、紀ノ川大堰が紀ノ川