

紀伊山地・上流に位置する猿谷ダムにおける 水質・植物プランクトンの長期変化

LONG-TERM VARIATIONS OF WATER QUALITY AND PHYTOPLANKTON IN
SARUTANI DAM IN STREAM BASIN IN THE KII MOUNTAINS

石塚正秀¹・寺本健士²・海原健吾³・紺野雅代²・清家志乃²・井伊博行⁴・平田健正⁵

Masahide ISHIZUKA, Takeshi TERAMOTO, Kengo KAIHARA, Masayo KONNO, Sino SEIKE, Hiroyuki II
and Tatemasa HIRATA

¹ 正会員	博(工)	和歌山大学助手	システム工学部環境システム学科	(〒640-8510 和歌山市栄谷930)
² 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)
³		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)
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)

Loss of water quality is proceeding in reservoirs and dams, even in stream basins near mountaintops, where is little artificial influence of nutrients. This paper presents water quality data, including phytoplankton data, that were observed from 1976 at the Sarutani Dam in the upper reach of Kinokawa River basin. A salient result is that dissolved oxygen in the bottom layer was less than 10% in 1976. This result means that not only a small supply of nutrients from natural sources such as soil, leaves, and branches, but also internal production has a large influence on water quality in the reservoir. Even though the T-N concentration is almost equal inside the reservoir and in the upper reaches of the stream, the ON/T-N ratio was large in the reservoir. This result indicates that internal production caused by phytoplankton changed the nitrogen composition. Phytoplankton (diatoms) increase in May and July with water temperature. In July and August, they decrease and other species (green algae and dinoflagellate) appear. Our observation shows that bottom material includes large amounts of organic matter that originated from phytoplankton. This is the main cause of decreased dissolved oxygen. To understand water quality in reservoirs, internal production and variation of phytoplankton is important.

Key Words : *phytoplankton, dissolved oxygen, internal production, kinokawa river, long-term monitoring*

1. はじめに

これまで、都市化や産業の発達により、河川に流入する栄養塩や有機物の負荷が増大し、水域の環境が大きく変化してきた。とくに、貯水池やダムなどの人工的な停滞水域では、水の華や赤潮の発生などの水質の悪化が顕在化している。しかし、一方で、人為的な影響の少ない山地上流域においても水質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。その原因として、土砂流入に伴う土粒子に含まれる窒素・リンの流入や枯葉などの植物残滓の有機物分解による栄養塩回帰が考え

られる^{1) 2)}。つまり、このような状況は、停滞水域の存在自体が物質移動を抑制するために、自然発生的に生じる水質変化といえる。

山地上流に位置するダムや貯水池は、水質変化に与える人為的な影響要因が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、貯水池やダムの多くは山地上流に位置しており、人為的影響の少ない場所における水質変化を考えることは、流域全体の水質・水量・生態系バランスなどの環境変化を考える上で重要である。また、物質循環の観点から、陸上の停滞水域における物質貯留の影響が大きいことが報告されており³⁾、一つ一つの水域における栄養塩収支を正確に見積

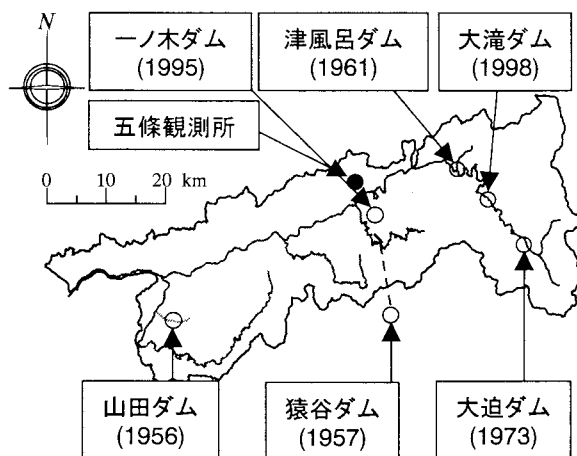


図-1 紀ノ川流域図とダムの位置
(括弧内はダムの建設完成年)

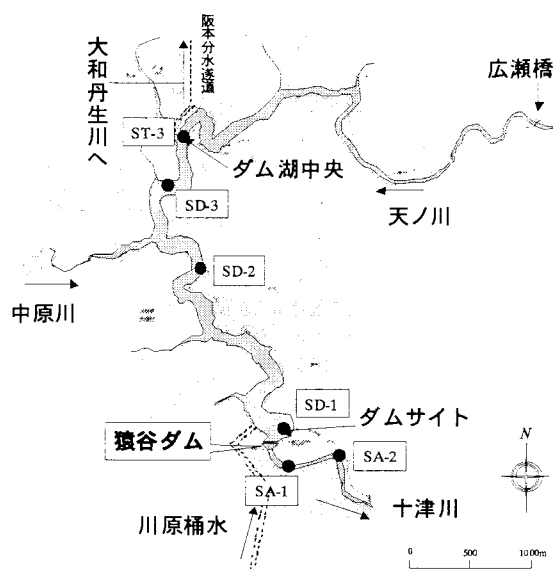


図-2 猿谷ダム流域の地図

もることが重要である。そのためには、まず、観測データから水質変化とその現状を知ることが必要である。

また、近年、数多くの生態系・水質モデルが開発されている。モデルと観測との情報補間はまさに車の両輪であり、現場における長期間の水質・植物プランクトンのデータは貴重である。本研究では、十津川上流の猿谷ダムにおいて1976年以降継続的に観測されている水質データを整理し、また、底質中のクロロフィルaを分析し、水質環境の変化と植物プランクトンの関係に焦点をおいて考察を行う。

2. 流域・調査の概要

(1) 猿谷ダムおよび流域の概要

猿谷ダムは奈良県大塔村に位置し、貯水容量23,300,000 m³ (有効貯水量17,300,000 m³) の貯水用ダムである(図-1 参照)⁵⁾。標高は約700 mであり、熊野川河口より約100 km上流に位置している。猿谷ダムは、自然流域界からみると新宮川水系に含まれるが、紀ノ川の各種用水を補うため、阪本分水隧道を通じて、一部(最大16.7 m³/s)を紀ノ川水系である大和丹生川に導水している(図-2 参照)。そのため、紀ノ川流域に含まれる。なお、猿谷ダムから直接下流の十津川に流れる維持水量は0.95 m³/sである。なお、ダムの回転率は6~7回/年程度である。

ダムの形状は南北方向に細長い形状(約4.5 km)をしており、南端にダム堤体があり、堤体部における水深が最も深い(有効水深24 m)。ダムの建設完成年は1957年であり、紀ノ川流域に建設されている6つのダムの中では山田ダム(1956年建設完成)について古い(図-1 参照)。管理は国土交通省が行っている。流域の土地利用は大部分が森林であり、天ノ川・中原川周辺にいくつかの建物があるが、ダム湖内の水質に対する人為的影響は低いと考えられる。

(2) 長期水質観測の概要

水質調査は、国土交通省が実施している⁴⁾。考察を行った期間は、水質調査が始まった1976年から2002年までの27年間である。調査項目は硝酸態窒素(NO₃⁻-N)、亜硝酸態窒素(NO₂⁻-N)、アンモニア態窒素(NH₄⁺-N)、全窒素(T-N)、オルトリン酸態リン(PO₄³⁻-P)、全リン(T-P)、クロロフィルa(Chl. a)、溶存酸素(DO)、植物プランクトン個体数・種類である。基本的に毎月調査が行われているが、測定項目によっては年数回のデータもある。採水は、ダム内の「ダムサイト」、「ダム湖中央」、およびダムに流入する天ノ川の「広瀬橋」の計3地点で行われている(図-2 参照)。採水層は表層(0.5 m)、中層、底層(底面+1 m)の3層である。ダムサイトとダム湖中央の水深は季節毎に変化するが、ダムサイトでは30~40 m、ダム湖中央では10~20 mである。また、エクマンバージ式採泥器を用いて湖底面から約0.1 m深さの採泥が実施され、強熱減量(IL)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)、化学的酸素要求量(COD)が分析されている。データは、2002年を除き紙媒体形式で保存されているため、データ入力を行った。

(3) 2004年1月21日の調査概要

上記の調査とは別に、2004年1月21日に現地調査を実施した。採水は、ダム下流の溪流(SA-1, 2)、ダム湖内(ST-3, SD-1, 2, 3)で実施した。SA地点ではそれぞれ1サンプル、ST・SD地点ではそれぞれ上層と下層(底面+1 m)の2層で採水を行った。なお、SD-1地点では、他の地点より水深が深いため、上層、中層、下層で採水を行った。なお、水質分析方法の詳細は石塚ら⁵⁾に詳しい。

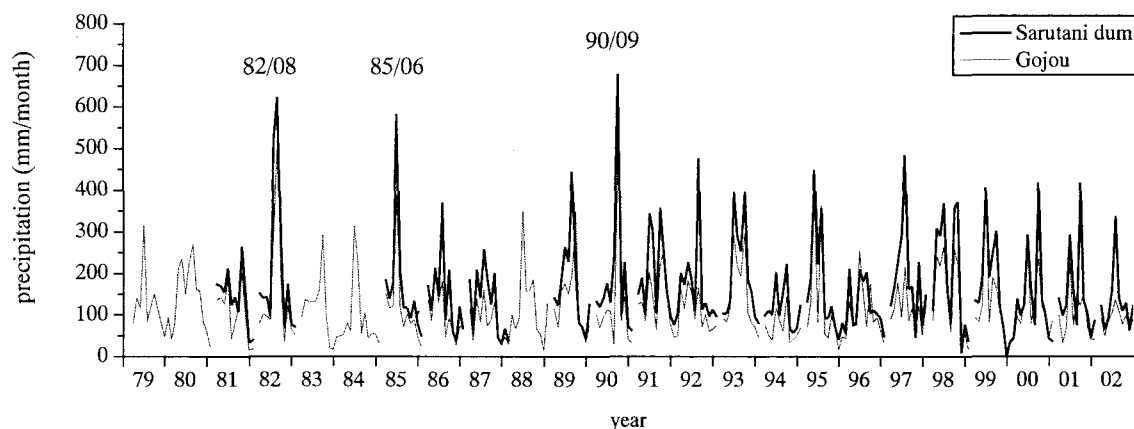


図-3 奈良県五條市（AMeDASデータ）と猿谷ダムにおける降水量の長期変化（1979～2002年），猿谷ダムの観測データは一部欠測

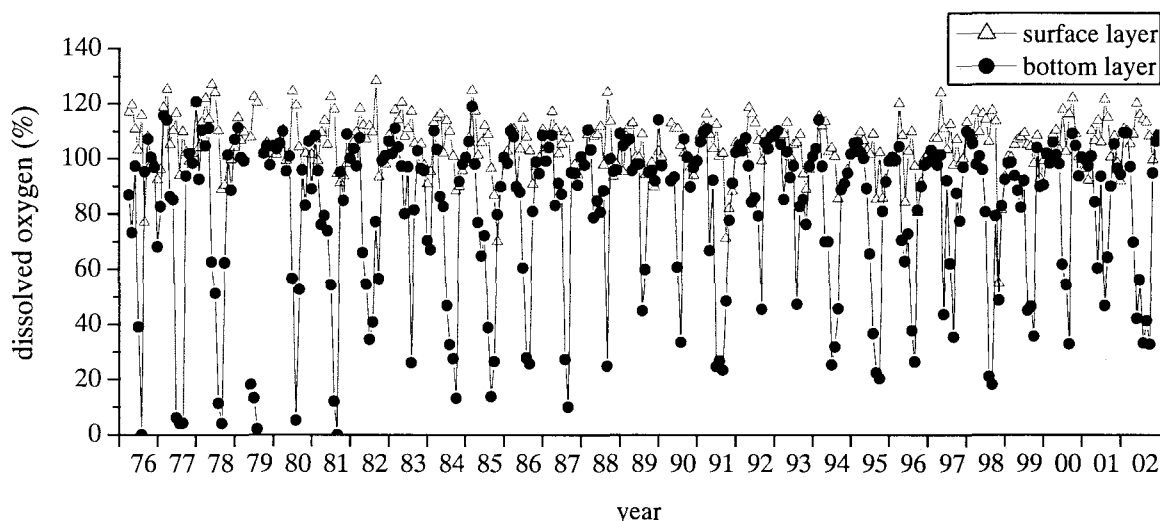


図-4 ダムサイトの表層と底層における溶存酸素濃度の長期変化（1976～2002年）

3. 長期水質データの結果

(1) 降水量・気温の長期変化

図-3 は1979～2002年の猿谷ダムおよび奈良県五條市における月降水量を示す。猿谷ダムの年平均降水量は約1902 mm/yrである⁴⁾。1990年以前に約600 mm/monthの降雨が3回記録されているが、それ以降、大雨は観測されていない。また、五條市の降水量の季節変化をみると、6月と9月の降水量が多い。また、猿谷ダムにおける気温変化（1981～2002年）をみると、8月が最も高く（23.3℃）、2月が最も低い（0.3℃）⁴⁾。

(2) 溶存酸素濃度の長期変化

ダムなどの停滞水域における水質変化の中で、水中の溶存酸素濃度の変化は生物活動の維持や嫌気的作用による物質の溶出などに対して重要である。図-4 は溶存酸素濃度の長期変化を示す。最も注目すべき点は、ダムの建設完成年から20年後の1976年の時点において、すでに夏季に底層が貧酸素状態にあることである。ダム流域の土地利用の大部分が森林であることを考えると、自然由来の栄養塩供給が水質に与える影響は非常に大きいことが分かる。図-5 はダムサイトにおける表層と底層の水温の季節変化を示す。4月から10月にかけて水温差が生じ、気温が最も高くなる8月の水温差が最も大きく9.6℃となる。また、植物プランクトン個体数が増加する3～9月に溶存酸素濃度が110～120%に増加し、また、pHは5～8月に8.0程度と若干増加しており（その他の月は7.5）、光合成が生じていることがわかる。

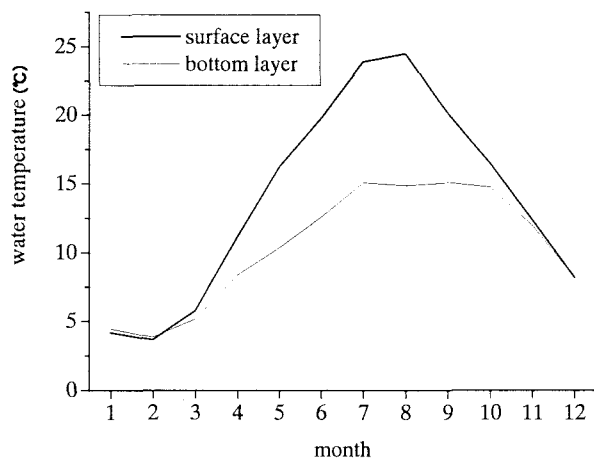


図-5 ダムサイトにおける表層と底層の水温の季節変化 (1976～2002年)

(3) 底質の長期変化

図-6 は、底泥のT-N、T-P、COD、強熱減量 (IL) の長期変化を示す。底質は1981年以降、年2回または1回の頻度で観測が行われており、21年間の観測データがある (ただし、ダムサイトにおける採泥は1995年まで実施)。ILについて、紀ノ川大堰のデータ (10.7 % (8月), 6.7 % (1月))⁵⁾ と比較すると、猿谷ダムにおいて、底泥の有機物含有量は多いことがわかる。このことは、底層における夏季の貧酸素化の原因と考えられる。また、長期変化については特徴的な変化の傾向はみられなかった。底泥の採取深が0.1 mであることを考えると、観測データは数年間の平均的な変化を示しているといえる。つまり、ダム流域の大きな環境変化がないことを考えると、栄養塩供給量と内部生産量、沈降・分解量がバランスしている可能性が考えられる。しかし、1996年と1999年に底泥の浚渫をダム湖中央付近で実施しており、その年に底質の改善がみられる。しかし、1・2年後には元の値に回復している。

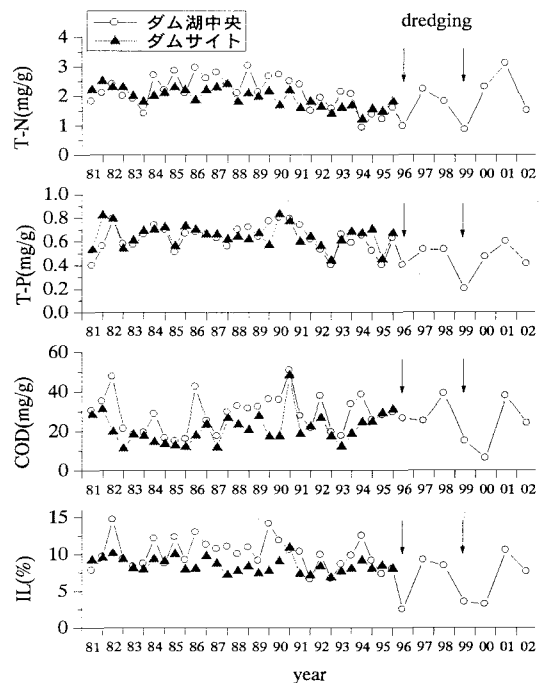


図-6 底泥のT-N、T-P、COD、強熱減量の長期変化 (1981～2002年)

(4) 窒素の長期変化

図-7 は、ダム湖中央と広瀬橋における窒素成分の時間変化を示す。ここで、有機態窒素 (ON) は、T-Nと溶解性無機態窒素3成分との差から求めた。したがって、ONには粒子性有機物と溶解性有機物が含まれる。特徴的な結果は、ダムに流入する渓流水 (広瀬橋) とダム内のT-N がほぼ同じ値を示す点である。また、広瀬橋において溶解性成分の分析が行われた1990年以前について、T-Nに対するONの比をとると、広瀬橋、ダム湖中央、ダムサイトにおいてそれぞれ、41、54、65 %であり、全窒素に含まれる有機態窒素がダム内において増加していることがわかる。これは、ダム内における内部生産により、 NO_3^- -Nが生体内に取り込まれている結果を示している。

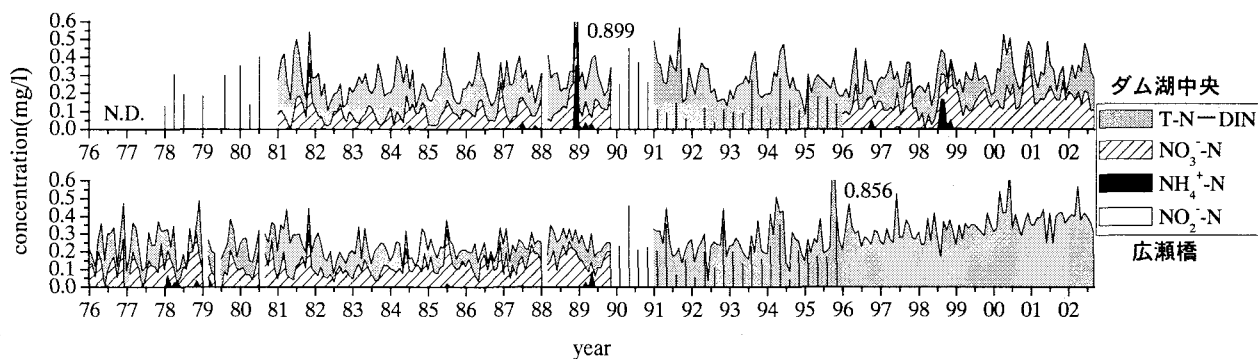


図-7 ダム湖中央と広瀬橋の表層における窒素の長期変化 (1976～2002年)

(図中の棒グラフの説明: 78～80年、90年はT-N (年4回調査), 91～95年は NO_3^- -N, NO_2^- -N, NH_4^+ -Nを表す。1996～2002年の広瀬橋における NO_3^- -N, NO_2^- -N, NH_4^+ -Nデータは無し。)

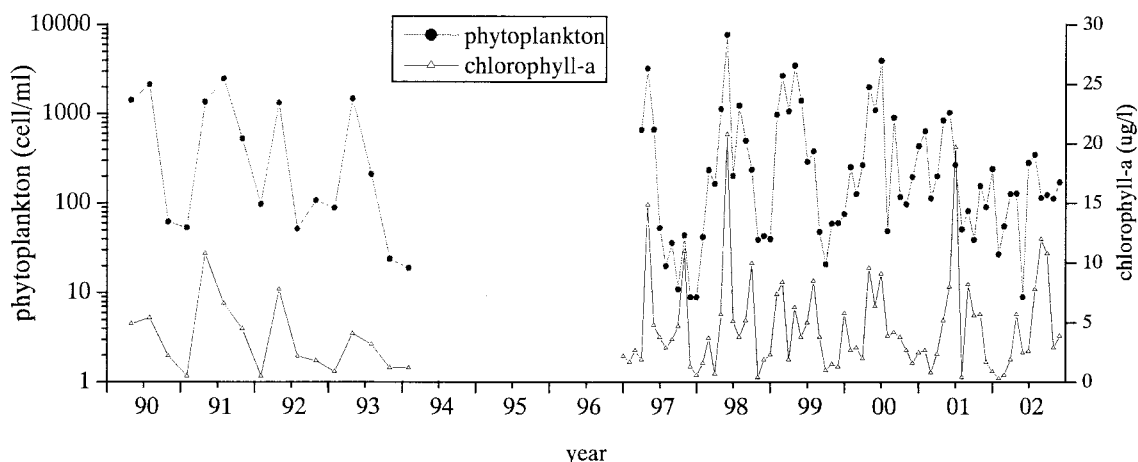


図-8 ダムサイトの表層におけるクロロフィルaと植物プランクトン個体数の長期変化（1990～1994年，1997～2002年）

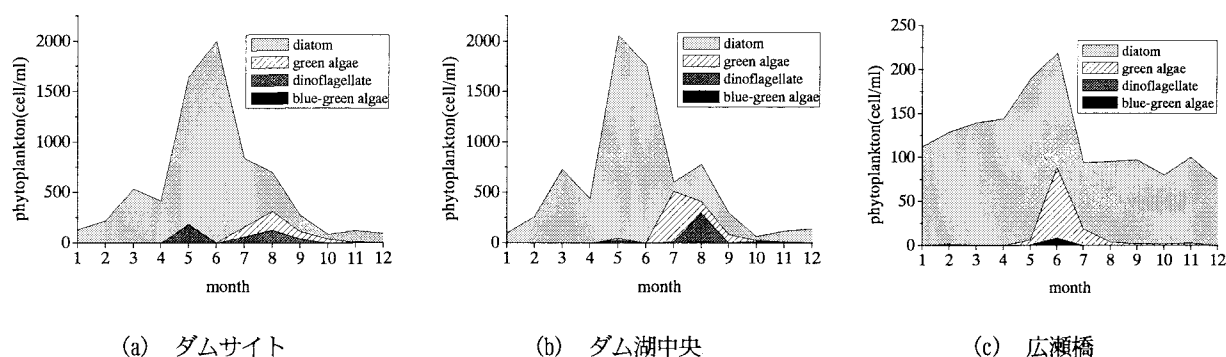


図-9 各地点の表層における植物プランクトン個体数と種構成の季節変化（使用データ：1990～1994年，1997～2002年）

広瀬橋とダムサイトにおけるT-Nは、平均的にみると0.2 mg/l，多い月で約0.4 mg/lであり，自然由来の窒素供給が大部分を占めるために高い値ではない（紀ノ川大堰直上において平均0.8 mg/l⁶⁾）。また，ダム湖中央において浚渫が開始された1996年以降，T-N中の溶解性無機態窒素の割合が浚渫以前と比較して，増加していることがわかる。ここ数年の夏季の底層における溶存酸素濃度の回復とあわせて考えると（図-4 参照），内部生産量が以前よりも減少し，ダム上流から供給される溶解性窒素の中で，生物活動に利用される量が減少した可能性が考えられる。しかし，近年における広瀬橋でのT-Nの増加やクロロフィルaやプランクトン個体数の長期データに特徴的な変化がみられないことから（図-8 参照），その詳細は明らかではない。また，表層においてアンモニア態窒素が観測されている年があるが，この理由は明らかでない。

(5) 植物プランクトンの季節変化

図-9 は，各地点における植物プランクトンの個体数とその種構成の季節変化を示す。ダム内2地点における変化をみると，4月から5月にかけて植物プランクトン個体数が急激に増加しており，珪藻プランクトンのプ

ルーミングが生じている。しかし，7月以降，植物プランクトン個体数は急激に減少し，10月以降，ダム湖内では約100 cell/mlとなる。一方，広瀬橋は猿谷ダムに流入する溪流に位置しており，わずかではあるが5・6月に珪藻プランクトン個体数が増加しており，春季の水温増加に伴いダム内と同様の時間変化を示す。

また，種構成をみると，ダム内2地点では，7～10月に，渦鞭毛藻類と緑藻類が増加し，珪藻プランクトンの割合が多い冬季・春季と比較して，種構成の変化がみられる。広瀬橋では，6・7月に緑藻類が増加しており，6月にはわずかに藍藻類も観察されている。また，広瀬橋では，渦鞭毛藻類は全く観測されていない。

植物プランクトンの優占種は，ダム湖中央とダムサイトではほぼ同じ種類であり，珪藻類は*Asterionella formosa*, *Fragilaria* spp., *Melosira distans*, 緑藻類は*Eudorina elegans*, *Sphaerocystis Schroeteri*であった。これに対して，広瀬橋では珪藻類の*Cymbella* spp., *Navicula* spp.が優先的であり，ダム湖内と種類が異なる点が特徴的である。

4. ダム内とその下流における有機物量の変化

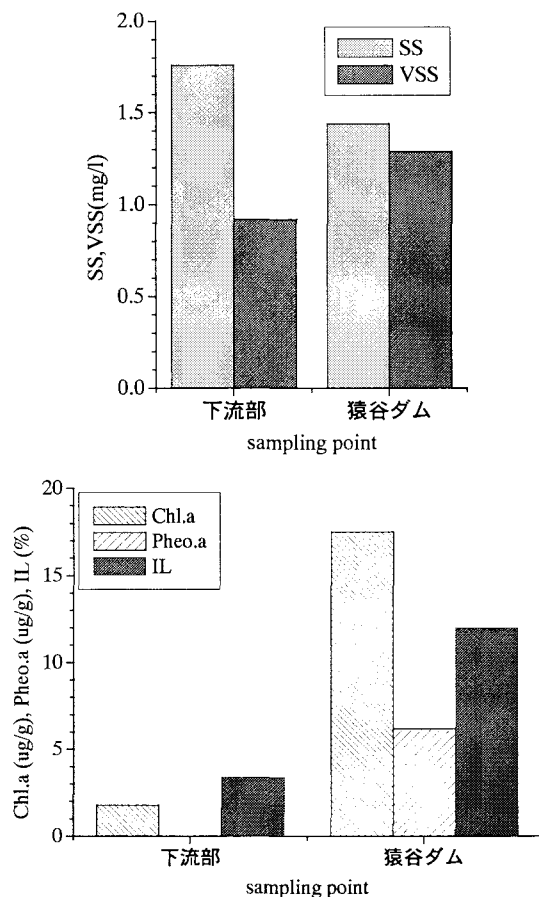


図-10 ダム内とその下流における水中の粒子性物質 (上段) および底質 (下段)

前章ではダム内の水質の長期変化を示したが、猿谷ダムのようなダムに流入する渓流水の栄養塩濃度が低い停滞水域における水質を考えるためには、有機物の組成および停滞水域とその下流における変化を知ることが重要である。ここでは、国土交通省の定期観測では測定が行われていない水中のSSの有機物量 (VSS) と底質中のクロロフィルaおよびフェオフィチンa量の測定結果を示して、ダム内とその下流における有機物量の変化から、山地の上流に位置するダムにおける水質変化の特徴を調べる。

図-10 は、ダム内とその下流における水中の粒子性物質および底泥中の有機物量を示す。ここで、ダム内のデータはSD-1～3、ST-3のデータの平均値を示す。特徴的な結果は、ダム内の底質にクロロフィルaとフェオフィチンaが多く含まれることである。このことから、ダム内では、植物プランクトンによる内部生産が多く、底質中に内部生産起源の有機物が植物残滓以外にも多く含まれることが分かる。また、ダム内の底泥中の有機物量は下流よりも多いことが分かる。

観測が冬季に実施されたために、ダム内の水温は鉛直一様に分布しており (SD-1地点において、表層と底層ともに水温4℃)、また、降水量も少ないことから、水中に含まれるSSはダム内とその下流ともに少なかった。ここで、ダム内とその下流におけるSSとVSSの差をみると、

わずかではあるが、ダム内ではSSに占める有機物量が多いことが分かる。逆に、ダムの下流では、SS中の無機物が多いことが分かる。

5. おわりに

猿谷ダムでは、ダム建設後の20年経た1976年時点で、すでにダム底層において貧酸素現象が生じており、自然由来の土砂流入や植物残滓による間接的な栄養塩供給がダム水質に与える影響が大きいことが明らかとなった。また、底泥には植物プランクトン由来の有機物が含まれており、流れの停滞による内部生産の影響があるという結果が得られた。

一般に、ダム貯水池などの停滞水域では、窒素・リン・ケイ素等の栄養塩の流入と流れの停滞にともなう夏季の水温上昇・水温成層により、植物プランクトンが増殖し、その後、無光層への死骸の沈降と分解によって底層の溶存酸素濃度が減少する。本研究が対象とした猿谷ダム流域は、人為的影響が少ないが、水質の長期変化をみると、わずかな栄養塩の供給により、夏季の底層において貧酸素化が生じている結果が示された。このことは、上流から運ばれる植物残滓以外にもダム内の内部生産によるところが大きく、植物プランクトンの変化動向を詳細に明らかにすることがダムの水質管理に重要といえる。

謝辞：猿谷ダムの長期水質データは、国土交通省猿谷ダム管理所管理支所 阿部宏行様、渡辺俊夫様、紀ノ川ダム統合管理事務所 本勝盛雄様、和歌山河川国道事務所 和佐喜平様、吉安勇介様のご協力で提供いただいた。また、水質分析には、科学研究費補助金 (若手 (B)、15760380、代表：石塚正秀)、および和歌山大学大学特別経費 (代表：石塚正秀) の援助を得たことを示す。

参考文献

- 1) 角哲也：ダム貯水池からの排砂と排砂時の放流水質管理、ダム技術、No.127, pp.30-38, 1997.
- 2) 道奥康治：流域からの植生残滓による貯水池の有機汚濁に関する研究、文部科学省研究成果報告書 (萌芽研究)、課題番号14655177, 98p, 2004.
- 3) USGS : Magnitude and Significance of Carbon Burial in Lakes, Reservoirs, and Northern Peatlands, U. S. Geological Survey Fact Sheet FS-058-99, 1999.
- 4) 国土交通省：猿谷ダム水質調査業務報告書, 1976～2002.
- 5) 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、水工学論文集、第49巻 (印刷中)。

(2004. 9. 30 受付)