

# ダム貯水池における物質移動に関する調査①

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 16～平 18

担当チーム：河川・ダム水理チーム

研究担当者：箱石憲昭、櫻井寿之

## 【要旨】

河川及び海洋部の生態系においては、各種栄養塩や重金属類の流下が重要な意味をもつことが明らかにされつつある。このため、流水を一時的に貯留するダム貯水池では、栄養塩類や重金属の流入・捕捉状況の解明及び予測技術を開発するとともに、必要に応じて適切な処置を講じることが求められている。

本課題では、上記の要請に対し、自然界からの供給物質であり、植物プランクトン増殖の制限に重要な役割を果たし得る、珪素・鉄及びこれらに関連する物質について、現地調査により、平水時及び出水時の珪素・鉄並びにこれらに関連する物質の流入及び放流の量並びに形態を把握した。

キーワード：ダム貯水池、シリカ、珪素、鉄、水質分析、現地調査

## 1. はじめに

河川及び海洋部の生態系においては、各種栄養塩や重金属類の流下が重要な意味をもつことが明らかにされつつある。例えば珪藻類増殖の制限に重要な役割を果たし得るシリカでは、貯水池等の停滞水域でトラップされ流出量が減ること（「シリカ欠損仮説」<sup>1), 2)</sup>）が懸念されている。このため、流水を一時的に貯留するダム貯水池では、栄養塩類や重金属の流入・捕捉状況を解明し、その予測技術を開発するとともに、必要に応じて適切な処置を講じることが求められている。

本課題では、上記の要請に対し、自然界からの供給物質であり、植物プランクトン増殖の制限に重要な役割を果たし得る、珪素・鉄及びこれらに関連する物質を主たる対象として、以下の項目に関する調査を行った。①平水時の珪素・鉄及びこれらに関連する物質の流入及び放流の量並びに形態の把握、②出水時における珪素・鉄及びこれらに関連する物質の流入及び放流の量並びに形態の把握。調査方法は現地観測と水質分析により実施した。

## 2. 調査方法

### 2.1 現地調査の概要

貯水池への珪素・鉄及びこれらに関連する物質の流入及び捕捉特性を把握するために、川治ダム貯水池を対象に平水時と出水時に現地調査を実施した。

川治ダムは利根川水系の鬼怒川に計画され、昭和58年に完成した多目的ダムである。総貯水量は

83,000,000m<sup>3</sup>、湛水面積は 2.2km<sup>2</sup>、水深はダム付近で約 80m である。流域面積は 323km<sup>2</sup>であり、流域の地質は、第三紀の安山岩、凝灰岩、花崗岩、閃緑岩等が主体となっている。上流で発電用の取水がされているため常時の流入量は数 m<sup>3</sup>/s 程度である。常時は、表面取水によって 0.5m<sup>3</sup>/s 程度が放流され、流入量が 30m<sup>3</sup>/s を越えるとコンジットゲートからの放流が開始される。

また、川治ダム以外の貯水池の概況を把握するために、2007年2月中に、図-1に示す関東、東北及び北陸の比較的大規模な8つの多目的ダム貯水池について、流入点と放流点の2地点で1回の採水を実施した。

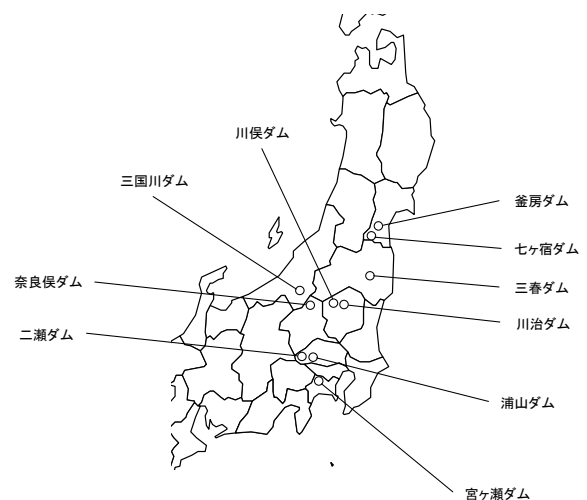


図-1 調査対象ダム位置

## 2.2 平水時調査

平水時の調査期間は、2004年8月～2006年3月であり、月1回の調査を実施した。調査地点は図-2に示した野門、栗山、松ノ木平、八汐大橋、貯水池内 St.6、元湯の6地点であり、野門、栗山については、上流域の水質の代表点として、残りの4地点については、それぞれ、流入点、貯水池上流部、貯水池湖心及び放流点の代表として選定した。貯水池内 St.6 では、図-3 に示すように、最深部の湖底から表層までの5深度でバンドーン採水器を用いて採水を行い、その他の地点は表層からバケツ等で採水した。なお、八汐大橋地点は、洪水期（6～9月）の水位低下時には河川の状態となり、それ以外では、湛水域になる。

## 2.3 出水時調査

出水時の調査は松ノ木平地点と元湯地点に自動採水器を設置し、出水が生じた場合に携帯電話から採水器起動の信号を送り、出水終了後に試料水を回収した。

## 2.4 分析項目

水質分析項目は、イオン状シリカ、SS濃度、Chl-a、全鉄、溶存鉄である。また、川治ダム貯水池湖心においては、多項目水質計（AAQ-1183：アレック電子（株）製）を用いて水温、濁度及びDOの鉛直分布の測定を実施した。イオン状シリカは珪藻類が利用可能な溶存態ケイ素<sup>1)</sup>の指標として選定し、モリブデン黄吸光光度法（JIS-K-0101-44.1）によりSiO<sub>2</sub>の濃度を定量している。鉄については、フルボン酸等の溶存有機物と錯体を形成した物質が植物プランクトンの生長に係わっているとの指摘があり<sup>3), 4)</sup>、ダム貯水池における流入及び捕捉特性を把握することを目的として、全鉄と溶存鉄を指標として選定した。全鉄についてはJISの分析法（JIS-K-0102-57.4）を用いた。溶存鉄については、採水したサンプルを1.0μmメンブレンフィルターでろ過し、全鉄と同様の分析を行った。ろ過は平水時調査では採水した日のうちにできるだけ早く行っており、出水時調査では、自動採水器から回収した日のうちに実施した。また、同時に、その他の栄養塩等についても分析を行っているが、本稿では、イオン状シリカと全鉄・溶存鉄の分析結果を主に報告する。

## 3. 調査結果

### 3.1 平水時調査の結果

図-4に川治ダム上流域のイオン状シリカ濃度の

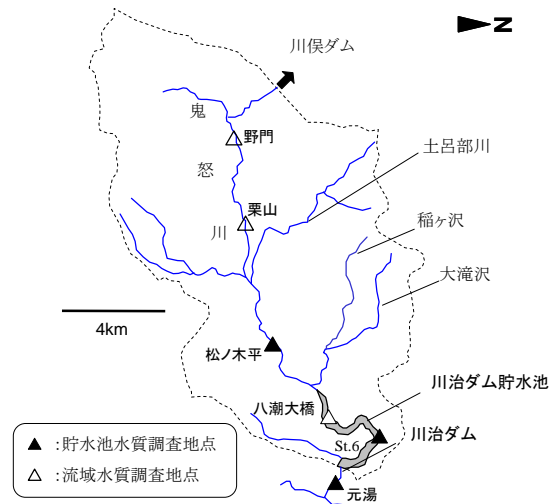


図-2 川治ダム流域概要及び水質調査地点

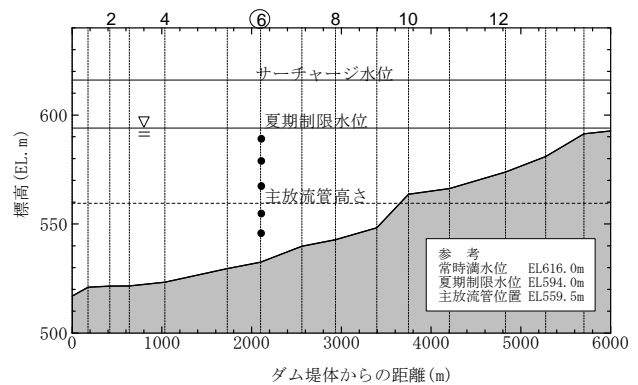


図-3 川治ダム貯水池縦断形状（●：採水ポイント）

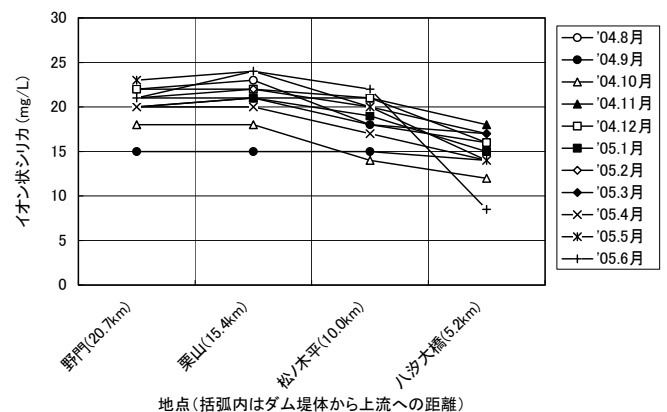


図-4 イオン状シリカの調査結果（川治ダム上流域）

平水時調査結果を示す。ダム流入河川上流部のイオン状シリカ濃度は、15～25mg/L程度であり、流下するにつれて若干減少する傾向が見られる。また、洪水期以外では湛水域となる八汐大橋地点で減少がみられる。

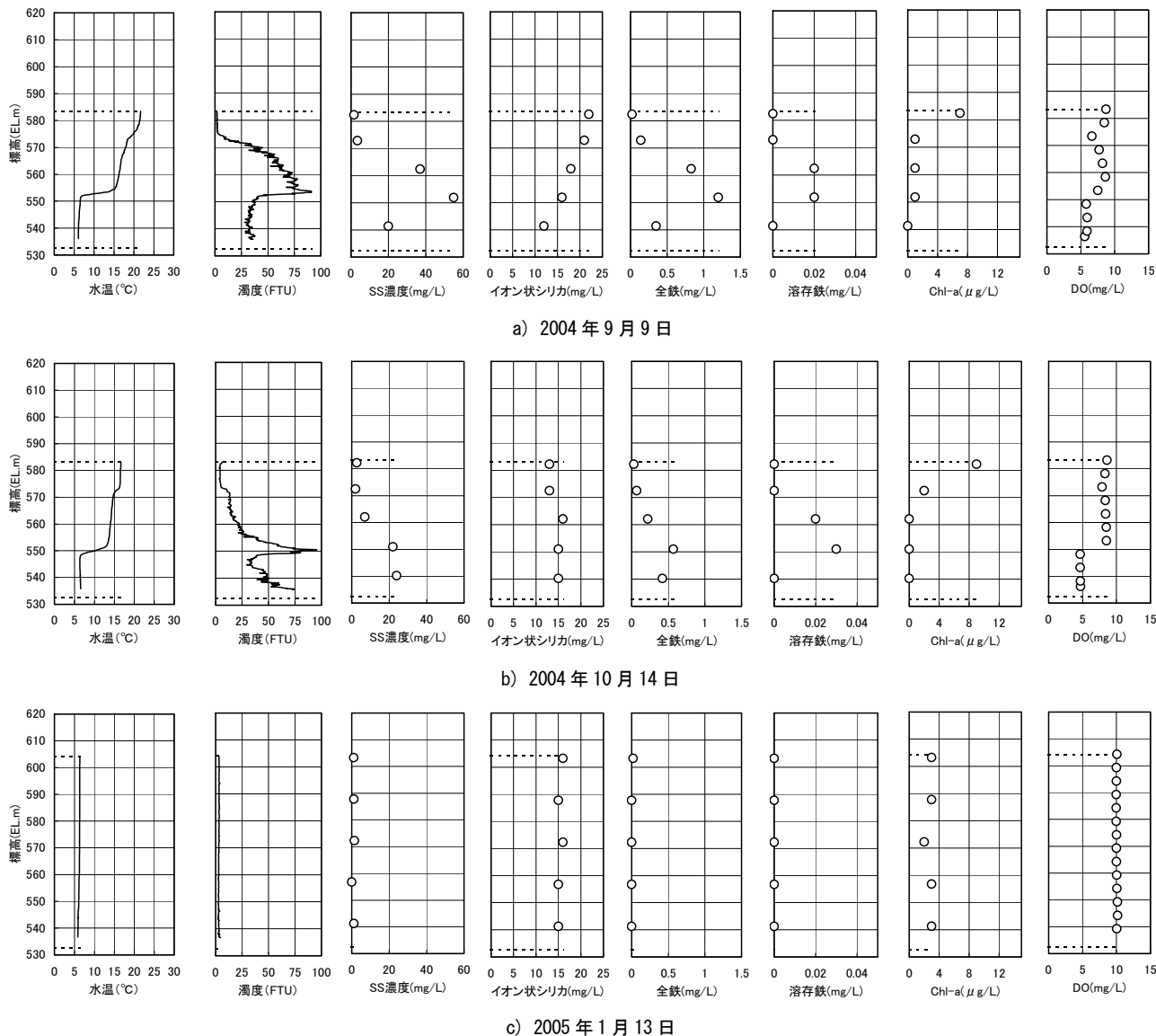


図-5 水質調査結果（川治ダム貯水池湖心 St. 6 の鉛直分布）

図-5 に貯水池内で実施した鉛直方向の水質調査結果の例を示す。2004年9月9日と10月14日の調査結果では、水温躍層が確認できる。詳細は出水時調査の結果で後述するが、調査の前に中規模の出水が発生しており、出水による混合によって、水温躍層の位置が低下しているものと考えられる。濁度(図中の単位は FTU：フォルマジン濁度)についても、出水で流入した高濁度の水塊が残っている。イオン状シリカについては、濁度・SS濃度との相関はあまり認められないが、全鉄及び溶存鉄については、高い相関が認められ、出水時に懸濁物質とともに貯水池内に供給されていると考えられる。冬期の2005年1月13日の結果では、循環期に入り、水温躍層は消滅し、濁度も全水深で小さい。イオン状シリカは

一様な濃度で分布しており、全鉄及び溶存鉄は、全水深で定量下限値の0.01mg/Lを下回った。

貯水池による濃度変化の影響を検討するために、図-6 に流入点、貯水池上流、貯水池湖心、放流点の全調査期間の平水時調査結果を示す。図-6の上段に示したイオン状シリカ濃度の結果をみると、流入点の濃度は14~23mg/Lの範囲で変動しており、明確な季別の傾向は認められず、平均値は19.3mg/Lである。貯水池湖心の値は、13.6~18mg/Lと流入点より変動幅が小さく、平均値は15.9mg/Lで流入濃度より、3.4mg/L小さい。放流点の平均値は15.0mg/Lで貯水池湖心の値よりわずかに小さく、流入点と比較すると、4.3mg/L減少しており、貯水池を通過することで約22%の減少を示している。

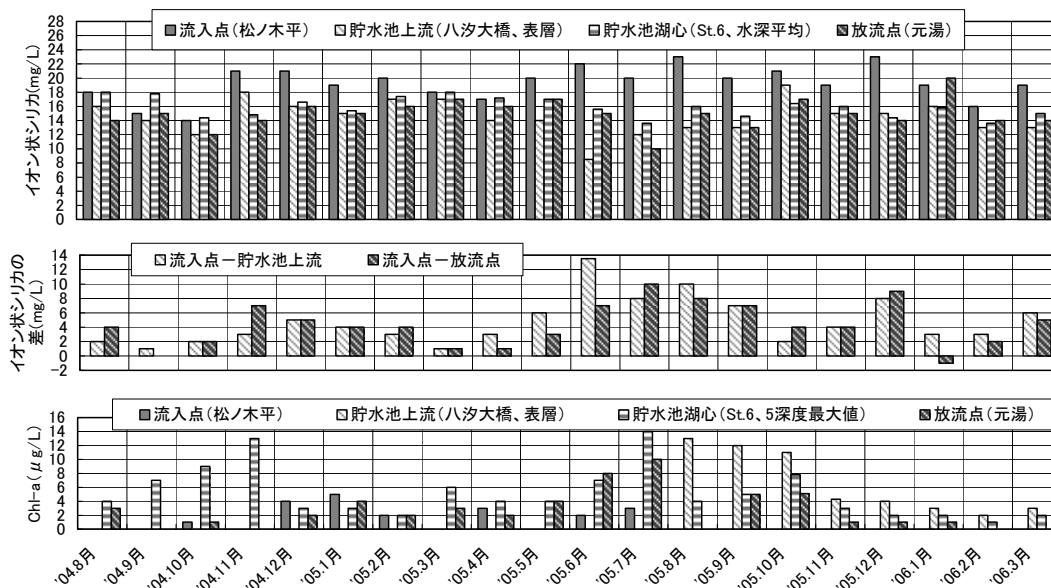


図-6 イオン状シリカ及びChl-aの水質調査結果（川治ダム貯水池平水時）

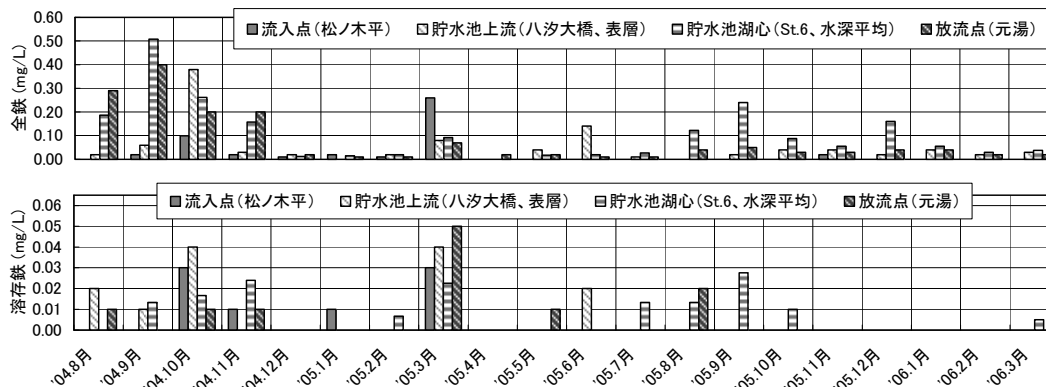


図-7 全鉄及び溶存鉄の水質調査結果（川治ダム貯水池平水時）

図-6 の中段には、流入点と貯水池上流及び放流点との濃度差を示しており、下段には Chl-a の結果を示している。なお、Chl-a については、2005 年 7 月以前は貯水池上流の、2005 年 8 月以降は流入点の分析を実施していない。これより、流入点からの減少量と Chl-a の値の間には相関が認められ、Chl-a の値はそれほど大きくないものの貯水池内のケイ藻類によって、シリカが消費されることで濃度が減少することが推測される。また、2005 年 8 月及び 9 月の結果では、貯水池湖心より貯水池上流の Chl-a の値が大きく、イオン状シリカの値は、貯水池上流の方が小さいため、上流表層部でケイ藻類の発生が顕著になり、シリカを消費したことが考えられる。

図-7 に全鉄及び溶存鉄の平水時調査結果を示す。棒グラフが無い箇所は分析結果が定量下限値以下であった試料である。これより、いくつかの中規模出

水が発生した 2004 年 9 月～11 月に全鉄、溶存鉄ともに値が大きい。また、2005 年 7 月下旬から 9 月上旬にかけて 3 回の中規模出水が発生しており、2005 年 8 月、9 月について貯水池湖心の値が大きい。2005 年 3 月にも流入点の値が大きい結果がみられるが、その他の時期では、流入点の濃度が小さく、貯水池湖心の方が大きな値を示している場合も多く、貯水池による濃度変化の影響については、本調査の結果から考察することは難しい。

図-8 に他ダム貯水池のイオン状シリカ濃度の調査結果を示す。これより、シリカの流入濃度は貯水池によってかなりばらついている。また、貯水池通過による濃度変化については、増加を示しているダムもあるが、最大で 27% 減少しており、平均的には 10% 程度の減少を示している。

図-9、10 に他ダム貯水池の全鉄及び溶存鉄濃度

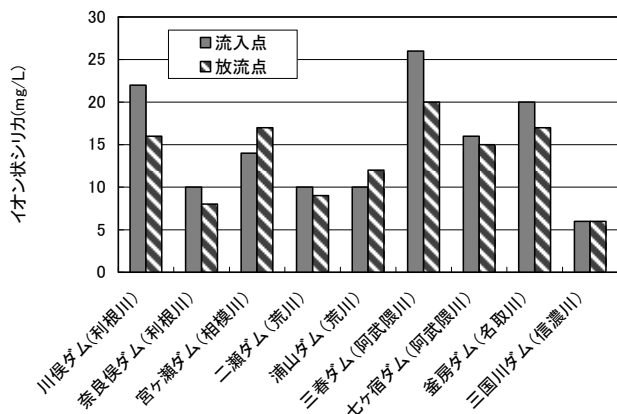


図-8 ダム貯水池水質調査結果 (イオン状シリカ)

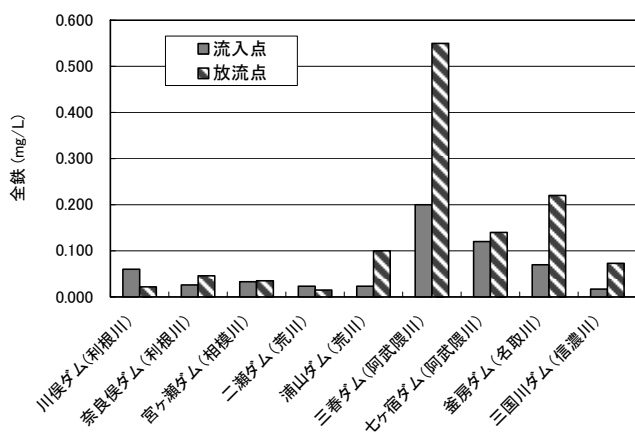


図-9 ダム貯水池水質調査結果 (全鉄)

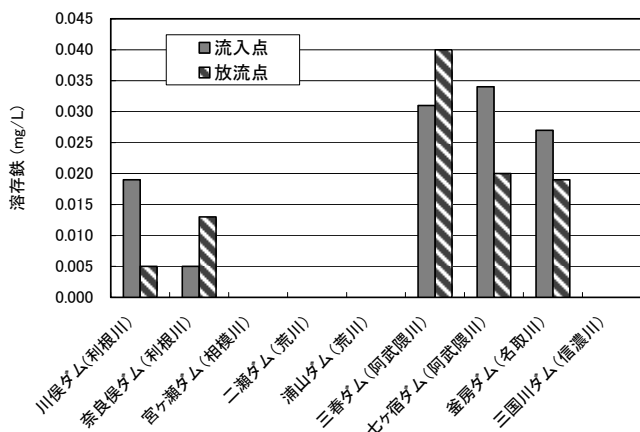


図-10 ダム貯水池水質調査結果 (溶存鉄)

の調査結果を示す。これより、全鉄については、放流点の値が流入点より大きい貯水池が多い。溶存鉄については、5つの貯水池で定量下限値以上の結果が得られた。3つの貯水池で放流点の値が流入点より小さくなり、2つの貯水池では大きくなっており、川治ダムの結果と同様に今回の結果から貯水池の影響を議論するのは難しい。

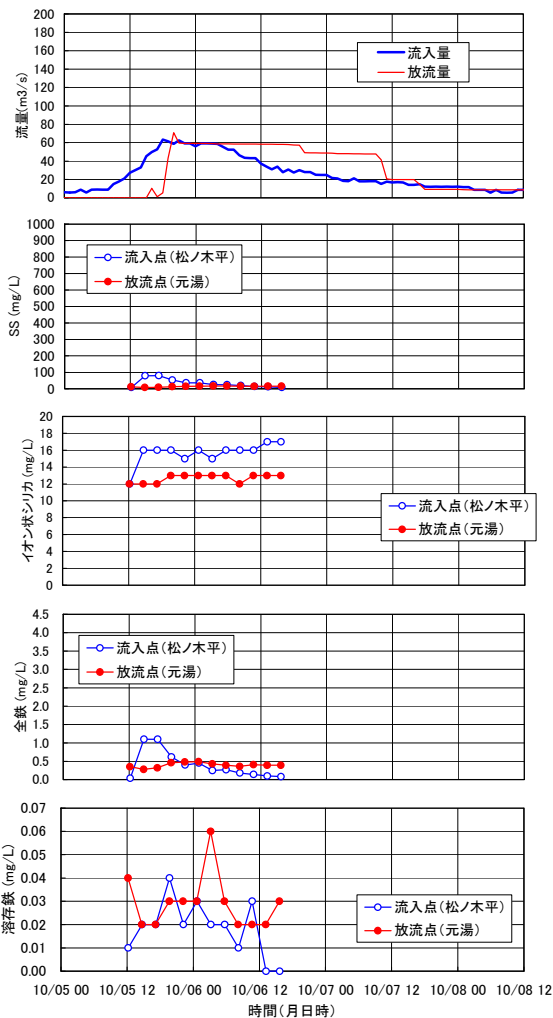


図-11 川治ダム出水時調査結果 (2004年10月5日出水)

### 3.2 出水時調査の結果

川治ダム貯水池において、調査期間中にピーク流量が  $40\text{m}^3/\text{s}$  を超える出水は、2004年8~10月に6回(最大ピーク流量  $320\text{m}^3/\text{s}$ )、2005年7~9月に3回(最大ピーク流量  $210\text{m}^3/\text{s}$ ) 生じた。このうち3回の出水で採水を実施しており、結果を図-11~13に示す。なお、図-13の2005年8月26日出水では、全鉄及び溶存鉄の分析は実施していない。

これらの図より、イオン状シリカの流入濃度と流量及びSS濃度との正の相関はみられない。また、出水時の流入濃度は平水時と比較して小さく、出水末期にやや上昇する傾向が確認できる。3回の出水時の流入シリカ濃度を平均すると  $14.7\text{mg/L}$  となり、平水時調査の流入点  $19.3\text{mg/L}$  や貯水池湖心  $15.9\text{mg/L}$  より小さい。なお、放流点の濃度は、図-6の出水発生月の貯水池湖心に近い値を示している。

図-6で2004年10月、2005年7月、9月の貯水

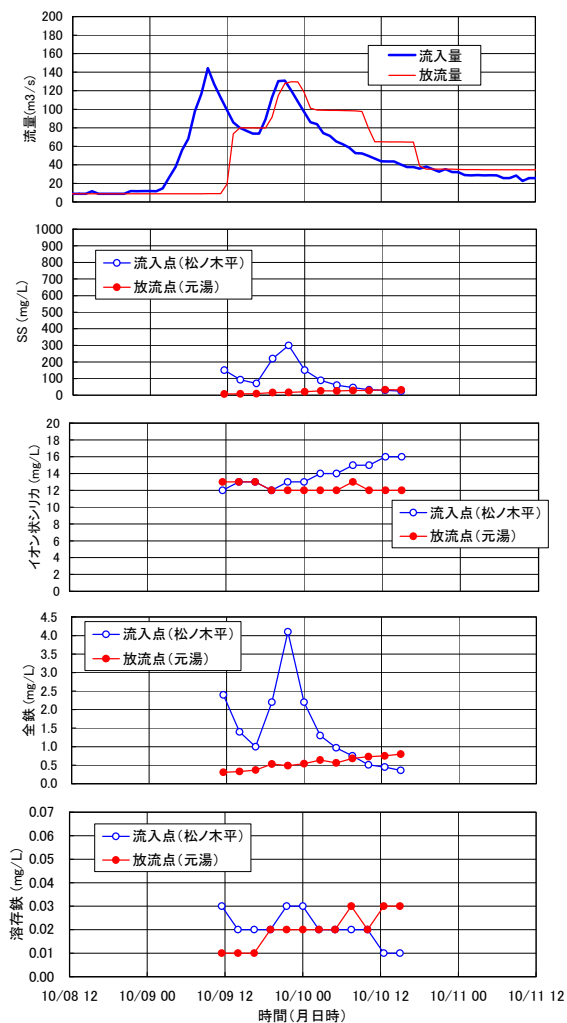


図-12 川治ダム出水時調査結果 (2004年10月9日出水)

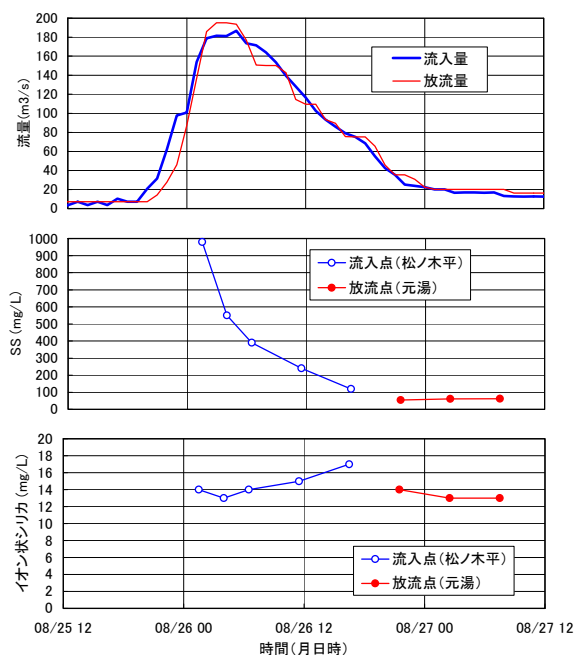


図-13 川治ダム出水時調査結果 (2005年8月26日出水)

池湖心のイオン状シリカ濃度が小さくなっているが、これらの月は出水によって、それぞれ回転率 1.17、0.25、0.42 (夏季制限水位時の貯水容量基準) の流入が生じており、出水時のシリカ濃度の小さい水が大量に流入したことにより貯水池内のシリカ濃度が低下したものと考えられる。

図-11、12 の全鉄及び溶存鉄の結果をみると、流入点の全鉄については、SS 濃度との相関がみとめられる。流入点の溶存鉄については、濃度の値が小さいため明確ではないが、若干 SS 濃度との相関がみとめられるようである。

#### 4. まとめ

貯水池におけるシリカ及び鉄の流入特性及び捕捉特性を把握するために現地調査を行った。得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 川治ダム上流域のイオン状シリカ濃度 15～25mg/L 程度であり、流下するにつれて若干減少する傾向が見られる。
- 2) 川治ダム貯水池湖心の鉛直方向の水質について、全鉄及び溶存鉄は、SS 濃度との高い相関が認められ、出水時に懸濁物質とともに貯水池内に供給されていると考えられる。
- 3) 川治ダムの平水時調査から、イオン状シリカ濃度は、貯水池を通過することで約 22% の減少を示している。この理由の一つとして、ケイ藻類によるシリカの消費が考えられる。
- 4) 他ダム貯水池のイオン状シリカ濃度の調査結果より、シリカの流入濃度は貯水池によってかなりばらついており、貯水池通過による濃度変化については、最大で 27%、平均的には 10% 程度の減少を示している。
- 5) 川治ダムの出水時調査から、イオン状シリカの流入濃度と流入量及び流入 SS 濃度との相関はみられず、出水時の濃度は平水時と比較して小さく、出水末期にやや上昇する傾向がある。
- 6) 貯水池内シリカ濃度低下の原因の一つとして、出水時のシリカ濃度の小さい水が大量に流入することが考えられる。
- 7) 川治ダムの出水時調査から、流入点の全鉄及び溶存鉄については、SS 濃度との相関がみとめられ、出水時に貯水池に多く供給されると考えられる。

溶存鉄に関しては、調査結果の濃度が小さく、貯水池による濃度変化の影響については、不明な点が

残されており、今後の情報の蓄積が望まれる。

#### 参考文献

- 1) 原島省：陸水域におけるシリカ欠損と海域生態系の変質、水環境学会誌、Vol.26, No.10, pp.9-13,2003
- 2) 石塚正秀・紺野雅代・井伊博行・平田健正：溶存ケイ素に着目した紀ノ川流域における水質特性、水工学論文集第48巻、pp.1483-1488, 2004
- 3) 武田重信：鉄供給による植物プランクトンの栄養塩利用の制御、日本プランクトン学会誌、第49巻、第1号、pp.21-26、2002
- 4) 今井章雄：水環境における腐食物質の役割と分析法の進歩、水環境学会誌、Vol.27, No.2, pp.2-7、2004
- 5) 櫻井寿之、箱石憲昭：ダム貯水池におけるシリカの流入及び浦足特性に関する現地調査、土木学会第62回年次学術講演会、2007（投稿中）

【英文要旨】

## **STUDY ON MATERIAL TRANSPORT PROCESS IN DAM RESERVOIR**

**Abstract :** It is being understood that various kinds of nutrients and heavy metal compounds are important for river and ocean ecosystem. Since the dam reservoir temporally stores river water, it is required to understand the transport and trap process of nutrients and heavy metal compounds and to take appropriate measures if it is necessary. This study aims to understand transport process of silica, iron and related materials that have large effect on growth of phytoplankton. As a result of field observation, inflow and outflow concentration and quantity of silica, iron and related materials during flood and normal time were understood.

**Key words:** dam reservoir, silica, iron, water quality analysis, field observation