

シリカ欠損仮説の周辺

(株)建設技術研究所 守谷 将史
堀田 哲夫
鶴田 泰士

1. はじめに

近年注目されているのが次のような「シリカ欠損仮説」である。すなわち、ダム貯水池等の停滞陸水域の増加とN、Pの負荷増大に伴い陸水珪藻類が増加し、自然の風化溶出により供給される溶存態シリカ(DSi)を吸収し生物態シリカ(BSi)となって沈降・堆積してしまう。このため、海域に流下するDSiが減少し、DSiを必要とする珪藻類(無害)よりもDSiを必要としない非珪藻類(有害赤潮を引き起こす種を含む)が有利になる。従来の負荷型海洋汚染と異なり、海洋生態系に必須な物質の陸からの補給が人為影響で欠落してしまうという視点である。本研究では、シリカ欠損仮説の事例を整理するとともに、ダム貯水池におけるDSiの濃度変化を定量的に把握することを目的として、貯水池内におけるシリカ濃度の変化を、移流・拡散および珪藻類の増殖等を表現できるシミュレーションモデルを用いて推算した。

2. シリカ欠損仮説の事例

(1) ドナウ川(アイアンゲートダム)における事例

この現象の典型例とされるのが、ドナウ川 アイアンゲートダム 黒海の系における珪酸塩の長期変化であり、大規模ダムの影響としてよく引き合いに出される(図1)。これは1960年代から1990年代にかけて黒海上層のDSiが減少し渦鞭毛藻類の発生が増加したことが指摘され、この減少量の80%は1970年代初頭にドナウ河にアイアンゲートダムが建設されたことによるとしている。¹⁾

しかしながらアイアンゲートダムの滞留時間は4日程度とかなり短く混合型の成層特性を示し富栄養化度も低い。そのため前記DSiの減少がダムの直接的影響とは考えにくく、その後実施されたダム上下流での直接観測結果からは収支から見てせいぜい4%程度の捕捉率であるという分析結果も出ており、上流域での多数のダム建設、用排水系統の変化など多様な要因が複合して起こった事象ではないかとしている。²⁾

(2) 琵琶湖流域での長期観測での事例³⁾

国内での珪素の観測例として琵琶湖流域での長期観測と解析の例がある。その結果によれば琵琶湖に流入する河川のDSi濃度は150~200 μM 程度であるが、琵琶湖表層の湖水ではこれが20~30 μM 程度に低下し、流出水濃度では5~60 μM 程度に低下する。この原因としては次のようなものがあげられ、琵琶湖の滞留時間が5~7年とかなり長いことからDSiの減少は

主に発生した珪藻によるDSiの取り込み、珪藻被殻の湖底への沈降・堆積の程度によって決まるとしている。

湖内で淡水性珪藻の発生で珪素が吸収される。
湖内での非生物的な過程で他の物質と共沈する。
(粘土などによる吸着など)
低温の河川水が水深15m位の水温躍層付近に流入する。

またこの調査の中では培養浮遊珪藻2種の生物細胞中の生物態珪素/クロロフィルa重量比が59~119であったとしている。

(3) ダム貯水池関連の事例⁴⁾

ダム貯水池上下流で直接観測した事例としては図2に示すような土木研究所による東日本での観測例がある。これらは平常時の上下流でのシリカ濃度を比較したものであり、貯水池によるシリカ濃度の減少は10~20%程度であったとしている。これらのダムの回転率はあまり小さくは無い。また1ダムでは出水時観測も実施しており、他事例同様出水時にはある程度シリカ濃度が低下することを示している。

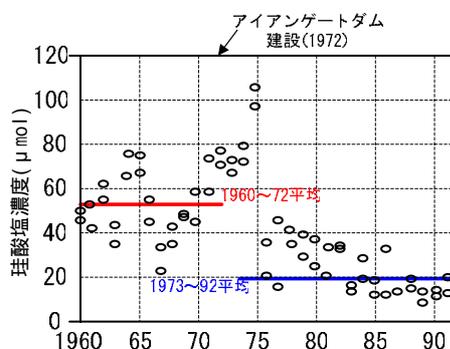


図1 珪酸塩濃度の推移(ドナウ川)¹⁾

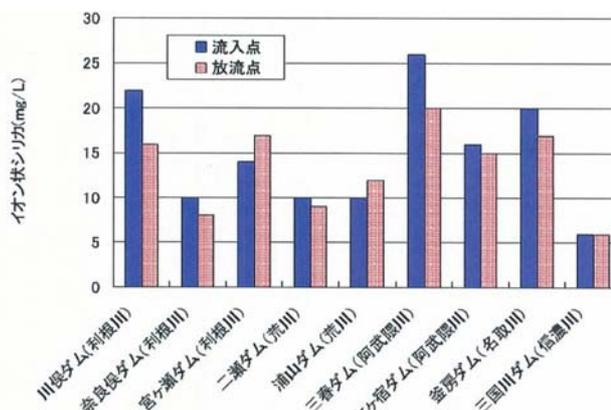


図2 ダム貯水池イオン状シリカ濃度調査結果⁴⁾

3. シミュレーションモデルによる推算

既往検討⁵⁾で対象とされた江の川水系ダムで新たなデータを手に入れたことから、新たな条件を加え次の計算方法で珪酸捕捉率の推算を行った。

(1) 貯水池におけるシリカの計算方法

水平 1 次元多層モデルを用いて、図 3 に示すように移流・拡散および珪藻による吸収等を考慮して、シリカの貯水池内における濃度変化・捕捉量を推算した。死滅珪藻の分解に伴うシリカの形態変化、底泥からの DSi の溶出、DSi の吸着沈降は考慮していない。

藻類の増殖パラメータ、沈降速度等は試行計算により実測の値を良好に再現できるような値を設定した。死滅珪藻クロロフィルa(Chl.a)の沈降速度は、珪藻 Chl.a の値と同様とした。BSi は珪藻に含まれるシリカ (LBSi) および死滅珪藻に含まれるシリカ (DBSi) に分けて算定した。これらの値は、珪藻(死滅珪藻)Chl.a に珪藻の Si:Chl.a 比(2.4~50.7)⁶⁾ を乗じて、さらにシリカ量に換算したものである。

ダム流入地点の溶存態シリカ濃度と流量の関係を図 4 に示す。他事例同様に流量が増加するとともにシリカ濃度が低下する傾向がみられる。

(2) 結果

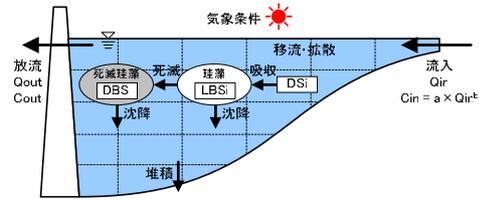
計算の結果を図 5、図 6 に示す。図中に示す帯は Si:Chl.a 比を最小値から最大値まで変化させたときの計算結果の変動幅である。計算の結果、Si:Chl.a 比を最大の 50.7 とした場合、放流 DSi は流入 DSi と比較して 10 力年で最大 22.1%、平均 5.3%濃度が低下する結果となった。これは、図 2 の事例と同程度の結果である。出水時には貯水池内の水が比較的濃度の低い水に入れ替わるため、出水後の期間(7~11月)の放流 DSi は流入 DSi と比較して濃度低下がみられる。また、珪藻増殖による放流 DSi の低下は最大 13.4%であった。ただし、貯水池の回転率が 13.9 回/年と大きく、珪藻に吸収された BSi についても大部分は放流されるため、貯水池内での BSi 堆積量(捕捉量)は流入量に対して 0.7%にすぎず、年間を通しての放流 DSi+BSi の平均値も流入 DSi と同程度となった。

4. まとめ

事例整理およびシミュレーションの結果、DSi についてはダムの上下流で 1 割程度低下する場合がありますと考えられるが、回転率が 10~20 程度と比較的大きいダム貯水池においては、珪藻に吸収されても大部分が放流されるため、堆積という形で貯水池に捕捉される量は非常にわずかであると考えられる。

また、放流 DSi の低下は、珪藻による捕捉のみならず、貯水池の水が出水により比較的濃度の低い水と入れ替わることに起因することを示すことができた。

Si:Chl.a 比、DSi 溶出速度、DSi の吸着沈降等の検討が今後の課題である。



モデル	水平 1 次元多層モデル
計算メッシュ	水平方向 x: 200m、鉛直方向 y: 1m
計算対象ダム	江の川水系ダム 常満容量: 41,800 千 m ³ 、平均年回転率: 13.9 回/年 T-P: 0.022mg/L、T-N: 0.54mg/L、Chl.a: 13.5 μg/L(ダムサイト表層水質 10 力年平均実測値)
計算対象期間	平成 5 年 ~ 平成 14 年
流入量・放流量・取水位置	計算対象期間の実績を元に与えた。
流入水質	実測濃度と流量との関係式(C-Q式)を用いて与えた。
気象条件	計算対象期間の実績を元に与えた。 (気温・湿度・風速・日射量・雲量)
計算水質項目	水温、SS、P、N、COD、DO、DSi、Chl.a(藍藻・緑藻・珪藻)、Chl.a(死滅珪藻)

図 3 モデル概要

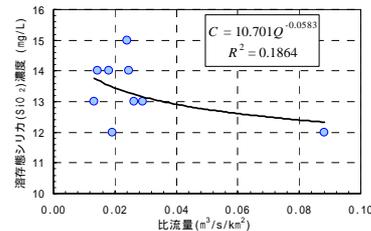


図 4 シリカ濃度と流量の関係(ダム流入地点)

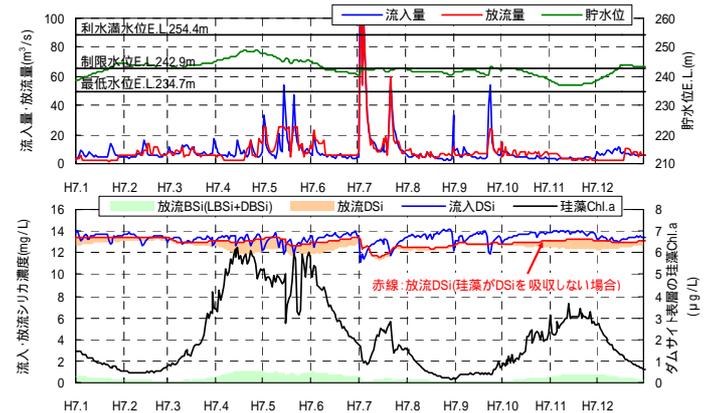


図 5 上: 貯水池運用、下: 流入・放流シリカ

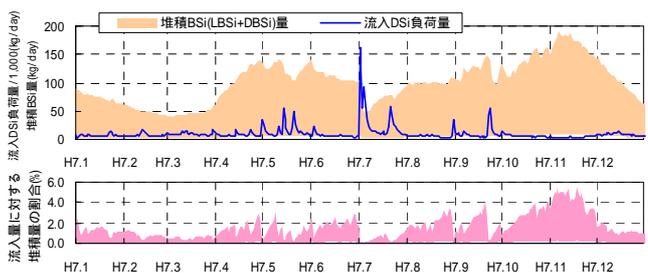


図 6 上: 流入・堆積量の変化、下: 堆積比率

参考文献

- 1) Christoph Humborg et al.:Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure, NATURE, 386, pp385-388, 1997
- 2) SCOPE66 The Silicon Cycle, Executive Committee 2005 2008
- 3) 原島省 他:グローバル水循環系のリン・窒素負荷増大とシリカ減少による海洋環境変質に関する研究, 平成 16 年度 環境省地球環境研究総合推進費終了研究成果報告書, pp9-109, 2004
- 4) 櫻井寿之 他:ダム貯水池におけるシリカの流入及び捕捉特性に関する現地調査, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 第 62 回, pp89-90, 2007
- 5) 天野邦彦 他:ダム貯水池における珪藻類による珪酸捕捉量の評価, 第 44 回環境工学研究フォーラム講演集, 2007
- 6) Jorgense, S. E., S. N. Nielsen and L. A. Jorgensen: Handbook of Ecological Parameters and Ecotoxicology, Elsevier, 1991