

ダム湖の水質および植物プランクトン

藤田和男, 鷹野 洋, 坂本祐基, 宮崎 清 (水質第一科)

【調査研究】

ダム湖の水質および植物プランクトン

Water quality and Phytoplankton in Reservoir

藤田和男, 鷹野 洋, 坂本祐基, 宮崎 清 (水質第一科)

Kazuo Fujita, Hiroshi Takano, Yuuki Sakamoto, Kiyoshi Miyazaki

要 旨

岡山県の三大河川の1つである旭川流域の湯原ダムと旭川ダムについて、平成20年度にダム湖の水質および植物プランクトンの調査を行った。調査結果を解析し、湯原ダムでの優占種である珪藻綱 *Asterionella Formosa* の細胞数の現況再現シミュレーション計算を行った。計算結果は概ね実測値と似た傾向を示した。実測値および計算結果から、春期から夏期にかけて *Asterionella formosa* が減少した主要因は流入水による希釈、夏期～秋期に優占種が変化した理由は水温、また冬期に *Asterionella formosa* が優占した理由は最適水温に近いためと推察された。

[キーワード：植物プランクトン, ダム湖, シミュレーション, 珪藻綱]

[Key words : Phytoplankton, Reservoir, Simulation, Bacillariophyceae]

1 はじめに

近年、県下のダム湖においてアオコやカビ臭の発生など富栄養化の影響による問題が生ずるおそれがあり、湖の水質を把握することが重要であることから、平成20年度にダム湖(湯原湖および旭川湖)について調査を行った。

湯原ダムは、一級河川である旭川上流部に位置する、総貯水量9,960万(t)、湛水面積4.5(km²)の重力式コンクリートダムである。また旭川ダムは、同じく旭川中流部に設けられた、総貯水量5,730万(t)、湛水面積4.2(km²)の重力式コンクリートダムである。

これらのダム湖について水質調査を実施し、加えて植物プランクトン調査を行い、その増殖状況について検討した。

2 材料および方法

調査地点を、図1に示す。湯原湖については湯原ダム(堰堤付近)および上流部流入河川の野田橋の2地点、旭川湖については江与味橋および上流部流入河川の間瀬橋の2地点である。平成20年4月～平成21年3月まで、年に12回採水を行った。

分析項目のうち、COD、BOD、全窒素(T-N)、全リン(T-P)、SSおよび全有機炭素(TOC)は工場排水試験法K0102¹⁾に準じて、NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N、PO₄-Pは

イオンクロマトグラフ装置(ダイオネクス製DX-320)により測定、またクロロフィルa(Chl.a)は吸光光度法²⁾により測定した。植物プランクトンはプランクトン計数板(松浪硝子工業製MPC-200)にサンプルを0.1(mL)採取し、顕微鏡(オリンパス製BH-2)で検鏡・計数した。

植物プランクトン細胞の比増殖速度 μ (1/day)は、文献³⁾を参考に以下の式で計算した。

$$\mu = \text{最大比増殖速度} \times (\text{窒素} \cdot \text{リン因子}) \times \text{温度因子}$$

$$= \mu_{\max} \left\{ \text{Min} \left(\frac{N_d}{K_N + N_d}, \frac{P_d}{K_P + P_d} \right) \right\} Kt$$

ここで

$$Kt = \left(\frac{T}{T_s} \cdot \exp \left(\frac{T_s - T}{T_s} \right) \right)^3$$

μ_{\max} : 最大比増殖速度(1/day), N_d : 無機態窒素(mg/L), P_d : 無機態リン(mg/L), K_N : 窒素半飽和定数(mg/L), K_P : リン半飽和定数(mg/L), K_t : 温度に関する係数, T : 水温(°C), T_s : 増殖に最適な水温(°C)である。窒素・リンについては、いずれも増殖を律速する栄養塩としての因子であり、いずれかの最小値を用いた。

水域での流入水を考慮した植物プランクトン細胞数の変化は、文献³⁾を参考に以下の式で計算した。

$$\frac{dC}{dt} = (\text{流入}) + (\text{増殖}) - (\text{沈降}) - (\text{流出})$$

$$= \left(\frac{C_{in}}{\tau}\right) + (\mu \cdot C) - \left(\frac{K_s}{H} \cdot C\right) - \left(\frac{C}{\tau}\right)$$

C : 植物プランクトン細胞数 (cells/mL), C_{in} : 流入水の植物プランクトン細胞数 (cells/mL), K_s : 植物プランクトン沈降速度 [0.03]³⁾ (m/day), H : 水深 (m), τ : 平均滞留時間 (day) ([] 内は定数値)。

平均滞留時間 τ (day) は各ダムの1日毎の流入量から計算した。希釈率 D (1/day) は τ の逆数 ($1/\tau$) である。

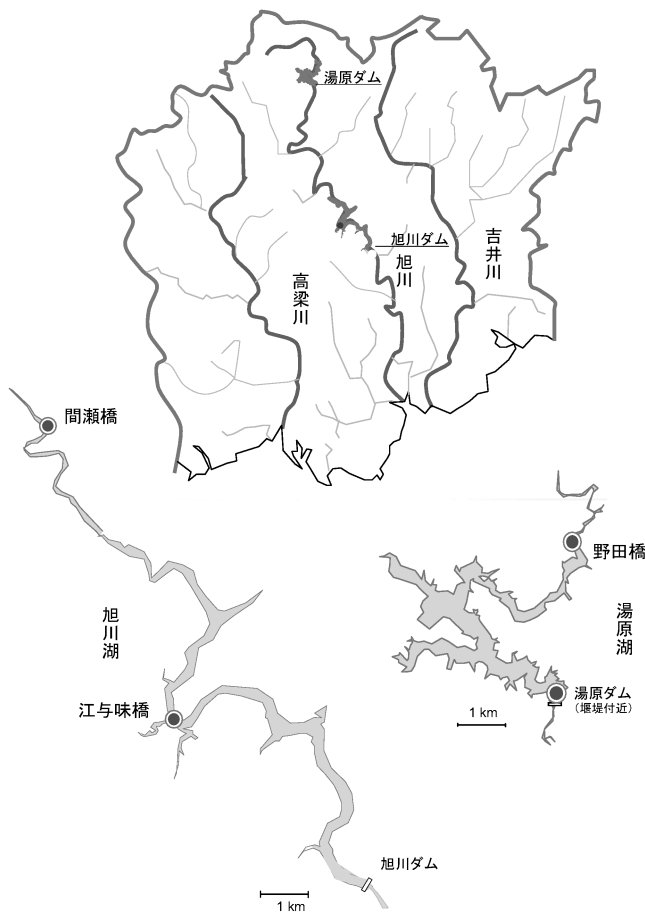


図1 採水地点

3 結果および考察

3.1 水質および植物プランクトン

図2に水質測定結果を示す。湯原湖では、pHが4~9月に8~9と高く、植物プランクトンの影響と考えられた。またCOD, TOCおよびChl.aが8~10月に高く、この時期に増殖した緑藻綱の影響と考えられた。

旭川湖ではpHが年間をとおして概ね7~8程度とやや高く、植物プランクトンの影響と考えられた。またCOD,

TOCおよびChl.aが8~12月にやや高く、この時期に増殖した珪藻綱の影響と考えられた。

植物プランクトンの優占種および季節変化(図3および表1)について、湯原湖では夏期(6~9月)には緑藻綱が優占していたが、その他の期間では、いずれのダム湖でも年間をとおして概ね珪藻綱 *Alterionella formosa* が優占していた。

湯原湖では、春期(4~5月)には *Asterionella formosa* が優占していたが、夏期(6~9月)には *Asterionella formosa* は見られなくなり緑藻綱 *Oocystis* sp. および *Volvox* sp.等が優占し、秋期から冬期(10~3月)にかけては再度 *Asterionella formosa* が優占した。

夏期に優占した *Oocystis* sp.については、8月20日には880 (cells/mL) 存在し、9月10日には32,000 (cells/mL) 存在した。前月からこの間の希釈率が0.14 (1/day) であったことから、この間の *Oocystis* sp.の沈降・死滅を考慮しない場合の見かけ上の比増殖速度 μ は0.33 (1/day) と計算された。これは2.4日に細胞数が倍となる速度に相当する。実際には沈降および死滅が生ずることから、*Oocystis* sp.の真の比増殖速度は、上述の μ より高い値(上述の値に沈降及び死滅を加えた値)と考えられる。

旭川湖では、年間をとおして珪藻綱が優占しており、全植物プランクトン細胞数の95%以上であった。春期から夏期(4~7月)には *Asterionella formosa* が優占していたが、夏期から秋期(8~10月)には *Asterionella formosa* は見られなくなり珪藻綱 *Melosira* 属 (*Melosira italica*, *Melosira granulata*, *Melosira varians*) が優占した。*Asterionella formosa* は11月から見られ始め、冬期(12~3月)には優占した。

ここで見られた *Alterionella formosa* については、「淡水産で世界的に分布し、湖沼プランクトンとして最も普通な種類で、*Melosira granulata* と共に淡水プランクトンの双璧をなすものである」⁴⁾ とされ、ダム湖で一般的に観察される種である。

図3に示した植物プランクトン総細胞数と図2に示したChl.a, CODおよびTOCは似た推移を示し、植物プランクトン細胞の増加が影響していることが示された。窒素・リンについて、T-NおよびT-Pと各項目(Chl.a, COD, BOD, TOC)の関係(図4および5)は概ね増加の関係があったが、これは窒素・リンが植物プランクトンに吸収されて水質の懸濁物質が増加することによる考

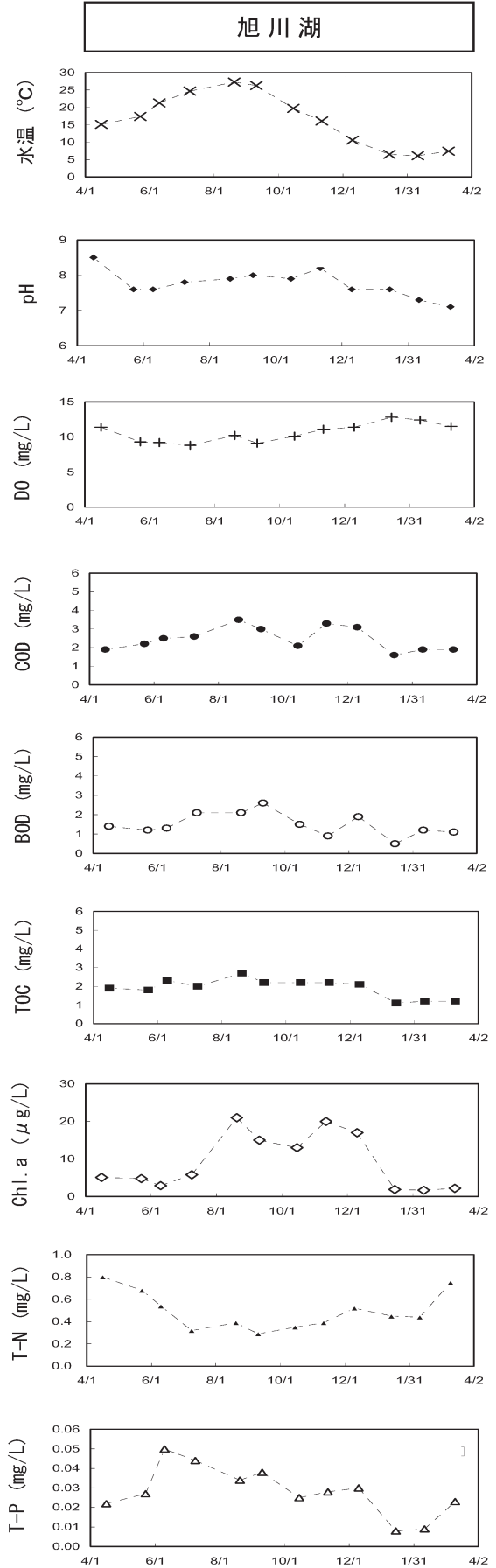
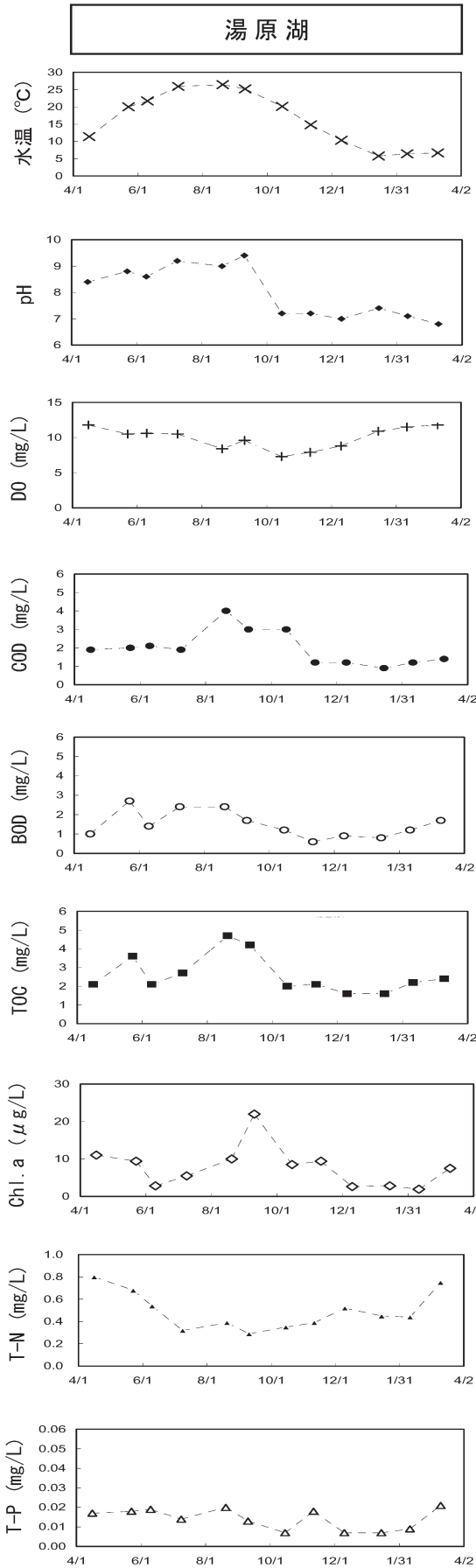


図2 水質調査結果

えられた。ばらつきが大きかったが、植物プランクトン種の違い等の影響が大きいと考えられる。特に湯原湖において緑藻綱が優占した8～9月(図4中の○で示す)には、他の時期と比較してT-NおよびT-Pに対するChl.a, COD, BODおよびTOCの値が高かった。これはこの時期に優占もしくは多数存在した緑藻綱(*Oocystis* sp., *Volvox* sp. および *Scenedesmus ecornis*)細胞が吸収した窒素・リンあたりのChl.a量が他の時期に優占した *Alterionella formosa* よりも2～3倍程度高く、また窒素・リンあたりの有機炭素量も2倍程度高いと推察された。夏期に優占した緑藻綱は、珪藻綱と比較して、吸収した窒素・リンあたりの光合成活性が高く、光合成代謝産物である有機炭素が多いと推定され、この理由として、「緑藻は珪藻や鞭毛藻とくらべて I_k' (光合成半飽和定数)や $P_{g_{max}}$ (真の最大光合成速度)が大きい」⁵⁾ という特性によると考えられた。

旭川湖についても湯原湖と同様に、特に珪藻綱 *Melosira* 属(*Melosira granulata* var. *angustissima*, *Melosira granulata*, *Melosira italica*, *Melosira varians*)が優占した夏期から冬期(8～12月)(図5中の○で示す)には、他の時期と比較してT-NおよびT-Pに対するChl.a, COD, BODおよびTOCの値が高く、同じ珪藻綱でも *Melosira* 属は *Alterionella formosa* と比較して光合成半飽和定数、もしくは最大光合成速度が大きいと推察された。

3.2.2 シミュレーションによる予測計算

図6に、水温、窒素およびリンと、優占種である *Asterionella formosa* の比増殖速度の関係、およびこれらの値を用いたシミュレーションによる予測計算結果を示す。

水温について、文献値³⁾では珪藻綱の最適水温 T_s として6～12(°C)の値が設定されており、ここでは T_s (°C)を10°Cとした。このとき、理論式から計算される温度係数 $K_t(-)$ と比増殖速度 μ は類似した変化を示した(図6)。

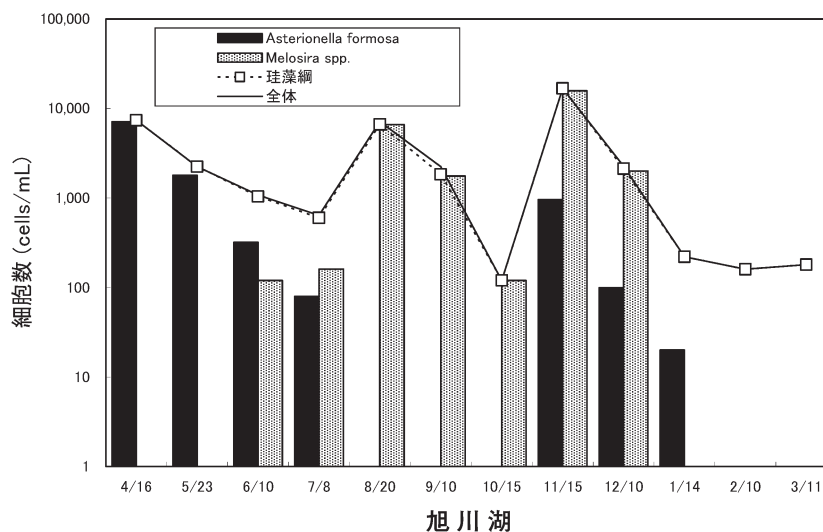
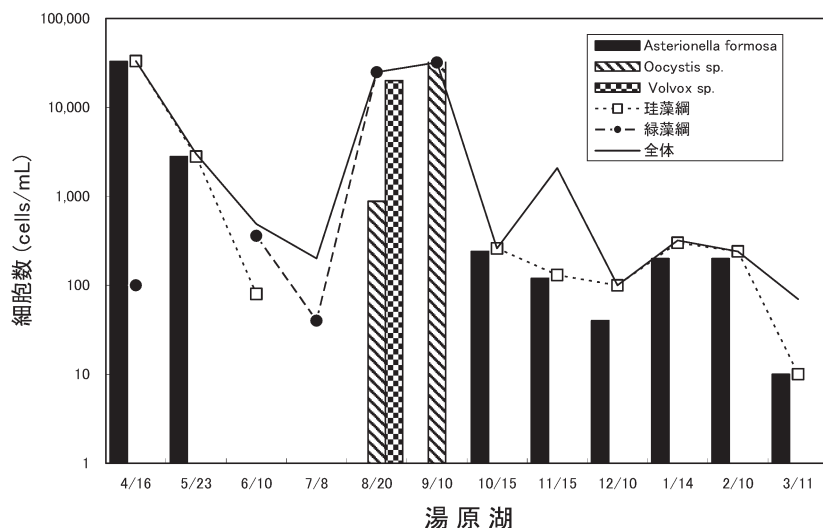


図3 植物プランクトン計数結果

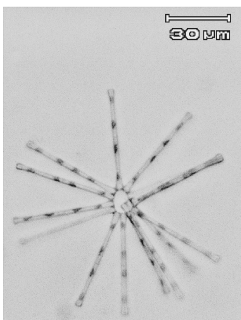
窒素として、植物プランクトンに吸収できる硝酸態窒素、亜硝酸態窒素およびアンモニア態窒素の合計を無機態窒素(I-N)とし、比増殖速度との関係を検討した。また、リンについては、リン酸態リン(PO_4-P)の測定はイオンクロマトグラフにより行ったが、定量下限が高く(0.01)、今回の解析ではより低い定量下限による測定値を要するため、定量下限が低い(0.001)全リン(T-P)の値について、比増殖速度との関係を調べた。

植物プランクトンの増殖を計算するためには、最大比増殖速度 μ_{max} および栄養塩(窒素・リン)の半飽和定数等の定数(パラメータ)値を設定する必要があるが、実測値から求めた。旭川湖については、形状が細長く、特に希釈率 D (1/day)の設定が難しいことから、旭川湖の実測値からの各パラメータ値の算出が困難であり、湯原湖の実測値のみを用いて各パラメータ値を求めた。

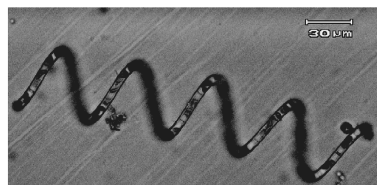
表1 植物プランクトン計数結果

湯原湖			08/04/16	08/05/23	08/06/10	08/07/08	08/08/20	08/09/10	08/10/15	08/11/15	08/12/10	09/01/14	09/02/10	09/03/11
<i>Anabaena sp.</i>	アナヘナ	藍藻綱				0.1								
<i>Attheya zachariasii</i>	アツェヤ ツアカリアン	珪藻綱							10					
<i>Asterionella formosa</i>	アステリオネラ フォルモサ	珪藻綱	33,000	2,800					240	120	40	200	200	10
<i>Cymbella turgida</i>	キンベラ ツルキダ	珪藻綱										20		
<i>Cocconeis sp.</i>	ココネイス	珪藻綱										20		
<i>Cyclotella sp.</i>	シクロテア	珪藻綱							10	10	60	60	40	
<i>Nitzschia acicularis</i>	ニツチア アシクラリス	珪藻綱	100											
<i>Fragilaria crotonensis</i>	フラギラリア クロトネンシス	珪藻綱			80									
<i>Oocystis sp.</i>	オーキスティス	緑藻綱					880	32,000						
<i>Chlamydomonas sp.</i>	クラミドモナス	緑藻綱	100											
<i>Staurastrum sp.</i>	スタウラストルム	緑藻綱				40								
<i>Sphaerocystis schroeteri</i>	スフェロキスチス スクロエテリ	緑藻綱			360									
<i>Scenedesmus ecornis</i>	セネデスムス エコルニス	緑藻綱					4,000							
<i>Volvox sp.</i>	ホルボックス	緑藻綱					20,000							
<i>Cryptomonas sp.</i>	クリプトモナス	褐色鞭毛藻綱		40	30	160	40			30		20		
<i>Uroglena americana</i>	ウログレナ アメリカーナ	黄金色藻綱								1,900				
<i>Peridinium tabulatum</i>	ペリディニウム タブラツム	渦鞭毛藻綱		160	20	0.20				30				60

旭川湖			08/04/16	08/05/23	08/06/10	08/07/08	08/08/20	08/09/10	08/10/15	08/11/15	08/12/10	09/01/14	09/02/10	09/03/11
<i>Asterionella formosa</i>	アステリオネラ フォルモサ	珪藻綱	7,100	1,800	320	80				960	100	20		
<i>Cymbella turgida</i>	キンベラ ツルキダ	珪藻綱	100	40								40	40	20
<i>Cocconeis sp.</i>	ココネイス	珪藻綱			40									
<i>Gomphonema sp.</i>	ゴムフォネマ	珪藻綱		40	40			40		10				20
<i>Cyclotella sp.</i>	シクロテア	珪藻綱				280				20				40
<i>Synedra acus</i>	シネドラ アクス	珪藻綱			80									
<i>Navicula sp.</i>	ナビキュラ	珪藻綱	200	240	360	80						80	80	60
<i>Nitzschia sp.</i>	ニツチア	珪藻綱		40	80		40	40				20	40	40
<i>Nitzschia acicularis</i>	ニツチア アシクラリス	珪藻綱		80								60		
<i>Melosira italica</i>	メロシラ イタリカ	珪藻綱					3,500							
<i>Melosira granulata</i>	メロシラ グラヌラータ	珪藻綱					3,100	800		800				
<i>Melosira granulata var. angustissima</i>	メロシラ グラヌラータ ver. アングスティッシマ	珪藻綱						960		15,000	2,000			
<i>Melosira varians</i>	メロシラ バリアンス	珪藻綱			120	160			120					
<i>Ankistrodismus falcatus</i>	アンキストロデスムス ファルクツス	緑藻綱				40								
<i>Scenedesmus ecornis</i>	セネデスムス エコルニス	緑藻綱					160							
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	セネデスムス クアドリコーダ	緑藻綱					320	80						
<i>Pandorina sp.</i>	パンドリナ	緑藻綱						320						
<i>Cryptomonas sp.</i>	クリプトモナス	褐色鞭毛藻綱			40		40				60			
<i>Peridinium tabulatum</i>	ペリディニウム タブラツム	渦鞭毛藻綱									80			



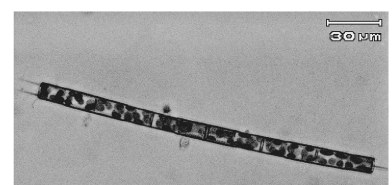
Asterionella formosa



Melosira granulata var. angustissima



Peridinium tabulatum



Melosira granulata

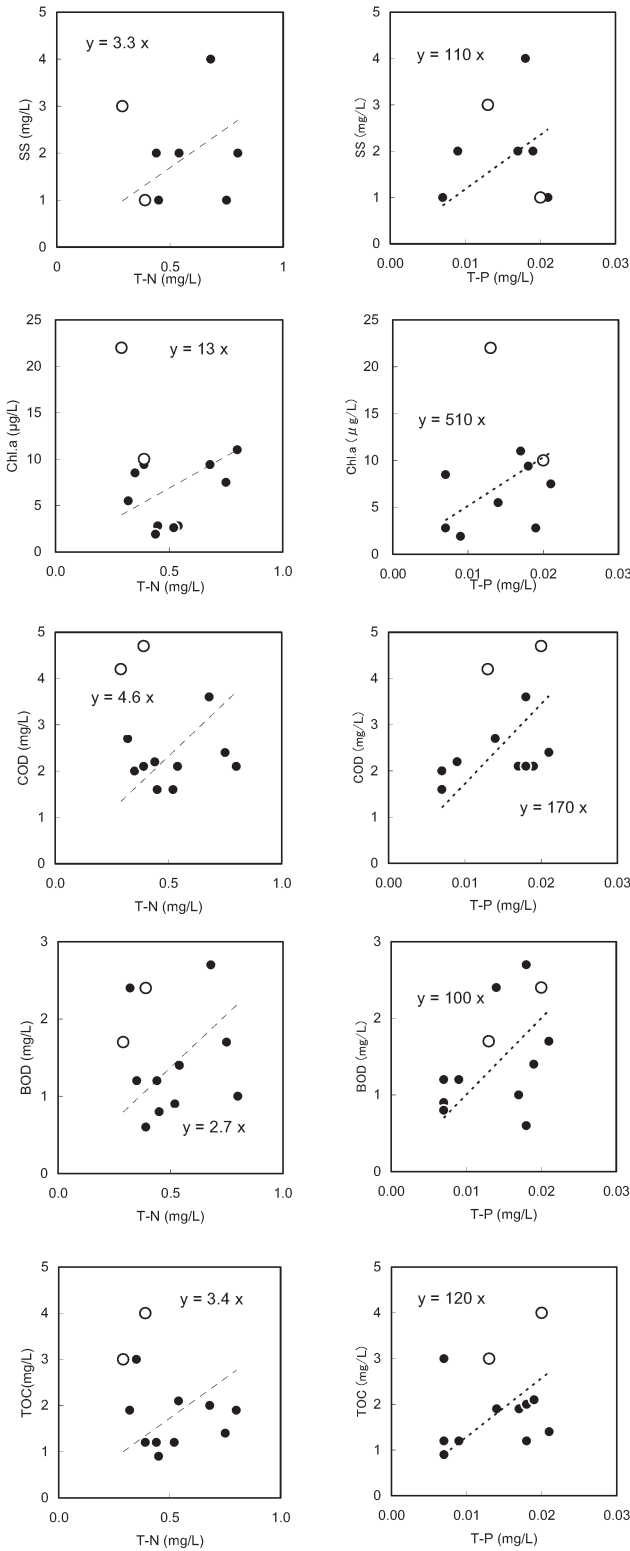


図4 T-NおよびT-PとChl.a, SS, COD, BODおよびTOCの関係(湯原湖)

○：8および9月
●：その他の期間

μ_{max} の値は、児島湖の水質シミュレーションにおける設定値³⁾を参考に0.35(1/day)に設定した。

半飽和定数は、栄養塩と増殖速度の関係を決定する

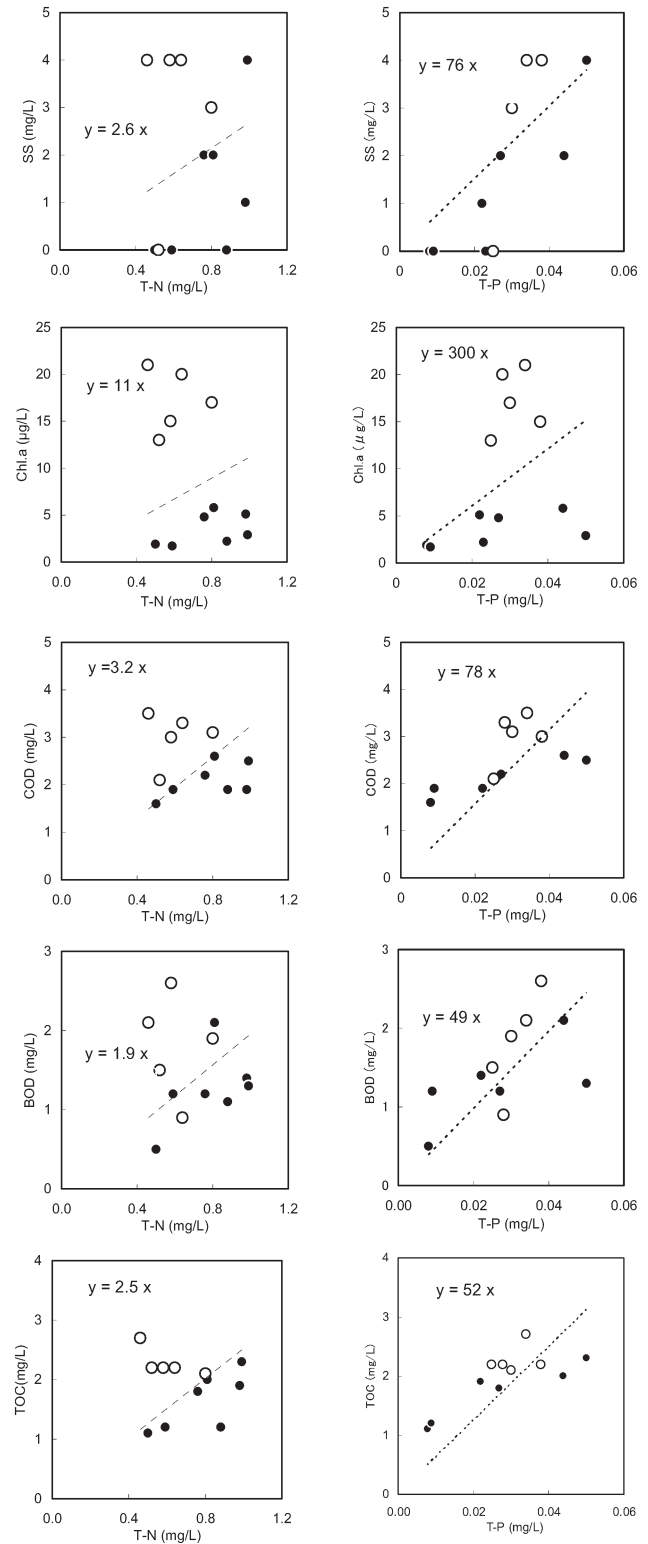


図5 T-NおよびT-PとChl.a, SS, COD, BODおよびTOCの関係(旭川湖)

○：8～12月
●：その他の期間

定数である。窒素の半飽和定数 K_N (mg/L)について、文献値³⁾では0.3(mg/L)が設定されている。今回の結果では0.1～0.3(mg/L)の範囲内であると推定され(図6)、ここで

他の因子(リンの半飽和定数)との関係から0.1(mg/L)とした。またリンの半飽和定数 K_p (mg/L)については、文献値³⁾では0.02(mg/L)が設定されているが、今回の比増殖速度とリンの関係(図6)を見ると文献値0.02(mg/L)³⁾より低い範囲内(0.001~0.02 mg/L)にあると考えられ、ここでは0.005(mg/L)とした。

これらの値を用いて計算を行うに際し、旭川湖については形状が流れ方向に沿って細長い形状であり、湖内の測定地点が中央部の1地点(図1)であること、および均一な混合が行われていないことから、希釈による流出の効果が一般の湖沼より大きくあらわれること等により計算が困難と考えられ、湯原湖のみについてシミュレーション計算を行った。初期値として、*Asterionella formosa*が4月16日に33,000(cells/L)、10月15日に240(cells/L)存在するとした。

実測値と計算値は概ね似た傾向で推移した。

実測値では4~6月にかけて植物プランクトン細胞数が減少し、7~9月では観察されなかった。計算値でも、4~9月にかけて減少しており、7月以降は0に近い値であった。夏期に*Asterionella formosa*の細胞数が0近くまで減少する理由は、この時期のダム湖の希釈率D(1/day)と比較して植物プランクトン細胞の比増殖速度が低いことによる。10月15日には、細胞数は240(cells/L)観察されたが、計算値では、8~9月の湖内の細胞数は0近くであり、また流入河川からも観察されていないことから、10月の細胞数を計算で再現できなかった。このため、10月15日に細胞数240(cells/L)を初期値として新たに設定し計算を行ったところ、以降計算値は10~3月まで概ね湖水の実測値と同様の推移を示した。秋期から冬期(10月~3月)にかけて*Asterionella formosa*が再び優占しているが、この計算上の理由は、この時期の希釈率が高いため細胞数は少ないが、水温が適温に近く比増殖速度が高いためである。

シミュレーション計算の結果と実測値の比較から植物プランクトン細胞の増殖を律速する因子を検討したところ、春期から夏期にかけての優占種*Asterionella formosa*の減少の主要因は流入水による希釈、夏期~秋期の優占種の変化は水温であった。また冬期には希釈率が高いため細胞数は少ないが最適水温に近い*Asterionella formosa*が優占したと推察された。しかし9~10月は増殖を再現できなかった。これはシミュレーション計算で想

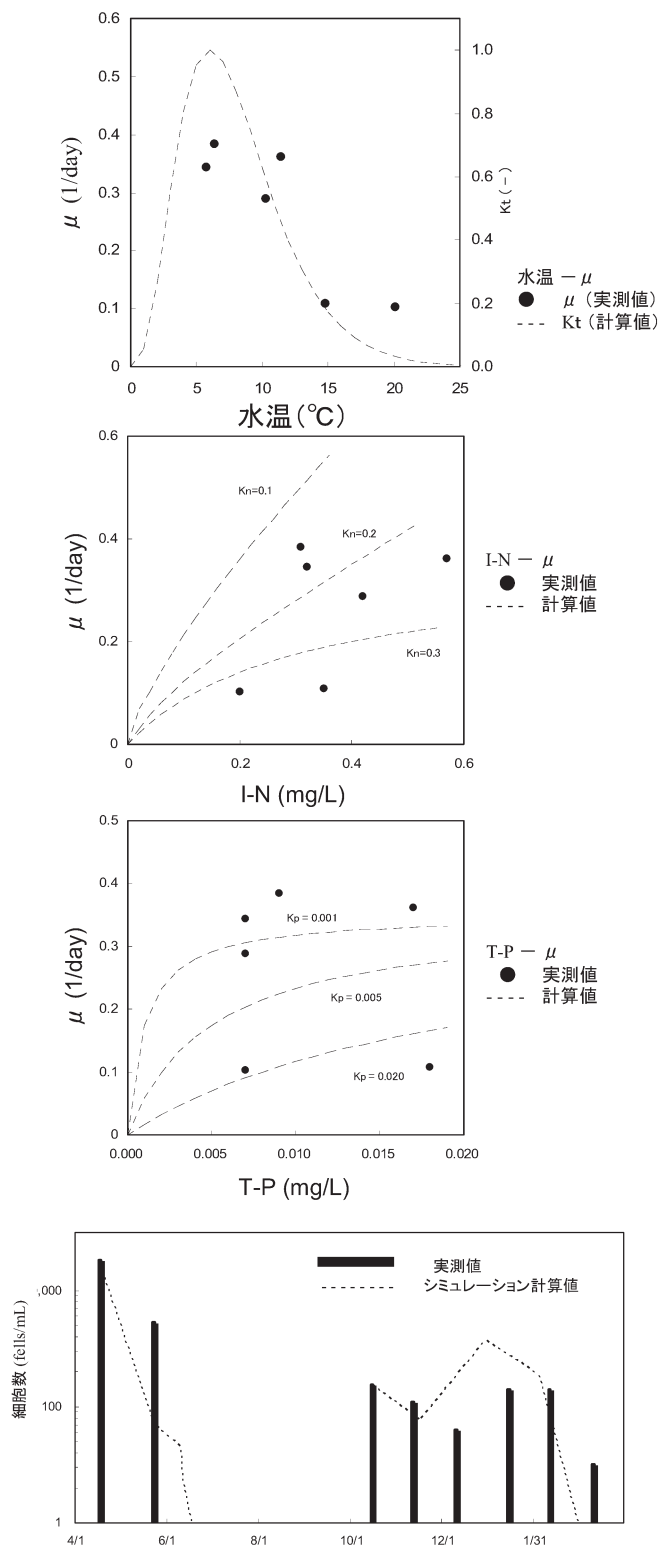


図6 *Asterionella formosa*の水温および水質と比増殖速度の関係およびシミュレーション計算結果(湯原湖)

定した因子以外の要因(種間の競合など)が影響したためと考えられた。

4 まとめ

湯原ダムと旭川ダムのダム湖について、水質および植物プランクトンを調査した。湯原湖での優占種である珪藻綱 *Asterionella Formosa* の細胞数の現況再現シミュレーション計算を行った。計算結果から、春期から夏期にかけて *Asterionella formosa* が減少した主要因は流入水による希釈、夏期～秋期に優占種が変化した理由は水温、また冬期に *Asterionella formosa* が優占した理由は最適水温に近いと推察された。

文 献

- 1) 平河喜美男編：工場排水試験法 JIS-K0102, 42～44, 日本規格協会, 東京, 1998
- 2) 西澤一俊, 千原光雄編：藻類研究法, 398, 共立出版, 東京, 1979
- 3) 岡山県, (株)ウェスコ：平成3年度児島湖水質保全計画基礎調査業務報告書, 83, 1992
- 4) 小久保清治：浮遊珪藻類, 250, 恒星社厚生閣, 東京, 1960
- 5) 田中信彦, 大和田紘一：単細胞藻類(珪藻・鞭毛藻・緑藻)54株の光合成と光照度の関係, Bull. Natl. Res. Inst. Aquaculture, 4, 113-120, 1983