

プランクトンから見た湯ノ湖の水質

水環境部

中島麻依子¹ 田村博² 齋藤康司

(¹現岡本台病院 ²現県南環境森林事務所)

要旨

30年間にわたる公共用水域の水質調査結果から、湯ノ湖湖心におけるプランクトンの出現状況等を解析した。その結果、プランクトンの出現状況は、季節、水温及び全窒素・全りん比の影響を受けていた。また、近年の優占種は、それ以前とは異なる傾向を示しており、今後の出現状況を注視していく必要があると考えられた。

キーワード：湖沼水質、プランクトン、水質年表、生物指標、優占種

1 はじめに

プランクトンは水質形成の重要な要素であり、水質評価にあたっては、窒素、りん及びCODなどの理化学的調査結果と併せてプランクトンの変動を見るが必要とされている。今般、湯ノ湖における30年間の動物および植物プランクトンの出現状況を解析したので報告する。

2 方法

昭和61年度～平成27年度の30年間にわたる公共用水域の水質調査結果¹⁾から、湯ノ湖湖心(st.5)における調査結果を用いて、以下の解析を実施した。

なお、全窒素、全りん及びCODの値は、植物プランクトンの解析では表層値、動物プランクトンでは全層平均値を用いた。これは、植物プランクトンは表層から採取し、動物プランクトンは水深10メートルで鉛直引きをして採取したためである。

2.1 腐水指数の推移

植物及び動物プランクトンのそれぞれについて、以下の式²⁾を用いて腐水指数(S)を算出した。Siは、スラディチェックによる値²⁾を用いるとともに参考文献³⁾⁴⁾に示された水質階級からPANTLEとBUCKの尺度²⁾により求めた。なお、属までの同定となっているものは、属内の種のうちSiが分かっている種の平均値を採用した。

Siが不明の属や種もあったため、植物プランクトンでは総出現数の90%、動物プランクトンでは総出現数の97%の属種について解析を行い、腐水指数を算出した。

算出結果について、Sの値が0.5～1.5、1.5～2.5及び2.5～3.5の場合にそれぞれ、α段階(貧腐水性)、β段階(中腐水性)及びα段階(中腐水性)と判定した。

$$S = \sum (h \cdot Si) / \sum h$$

S：全生物群集に関する腐水指数

Si：種により異なる個々の腐水指数

h：現存量の指標となる「評価のための尺度を踏まえた数値」²⁾

表1. 腐水指数算出のためのhの値

h	植物：1 mL中の細胞数 動物：1 m ³ 中の個体数
1	1～100
2	101～10,000
3	10,001～1,000,000
4	1,000,001～

2.2 植物プランクトンの評価方法

植物プランクトンの現存量について細胞数から評価を行うと、小型種が大きく評価されて大型種の変動が見逃されることが知られており、細胞体積による評価の有効性が示されている⁵⁾⁶⁾。そこで、総細胞数及び総細胞体積の推移と、植物プランクトン現存量指標であるクロロフィルaの濃度の推移の相関を求め、いずれの評価方法がより適切か確認した。

出現種毎の細胞体積に月毎の出現数を乗じ、これを合算して月毎の総細胞体積を算出した。種の細胞体積は、一瀬ら⁷⁾、岸本ら⁸⁾、高橋ら⁶⁾、小日向ら⁹⁾による文献値を用いた。なお、文献値が不明なものについては、その種が分類される属の細胞体積平均値を採用した。これらのうちの3%については、体積が不明な属種であったため、30年間における総出現数の97%について解析を行った。

2.3 現存量の推移

植物及び動物プランクトンのそれぞれについて、網別の出現体積及び数の推移を求め、CODとの関係を解析した。

2.4 優占種の変遷

植物及び動物プランクトンのそれぞれについて、優占種の変遷を示すプランクトンカレンダーを作成した。植物プ

ランクトンでは、種毎の細胞体積（文献値^{6)~9)}に出現数を乗じて、最も大きかった種を月毎の優占種とした。動物プランクトンでは、個体数が最も多かった種を優占種とした。

2.5 季節ごとの優占種の特徴

春(4,5月)、夏(6~8月)及び秋(9~11月)のそれぞれにおける、2.4節で求めた優占種の綱別、属別の割合を算出した。

2.6 全窒素、全りん比（以下、「N/P」という）との関係

植物及び動物プランクトンの、それぞれ優占回数の多かった属について、優占種となった月のN/Pを求めた。解析対象とした属は表2のとおりである。

表2. N/P解析の対象とした属

植物 プラン ク ト ン	珪藻綱	アウラコセイラ(<i>Aulacoseira</i>)属
		ホシガタケイソウ(<i>Asterionella</i>)属
		オビケイソウ(<i>Fragilaria</i>)属
		ハリケイソウ(<i>Synedra</i>)属
	黄色鞭毛綱	ウログレナ(<i>Uroglena</i>)属
	渦鞭毛綱	クリプトモナス(<i>Cryptomonas</i>)属
	動物 プラン ク ト ン	輪虫綱
鯰脚亜綱		ミジンコ(<i>Daphnia</i>)属
		ゾウミジンコ(<i>Bosmina</i>)属

2.7 水温及び季節との関係

2.5節に示した属について、月毎の水温と出現体積(数)の関係解析した。

3 結果及び考察

3.1 腐水指数の推移

過去30年間における腐水指数は、植物プランクトンでは1.2~2.0(平均値1.6)、動物プランクトンでは1.4~2.1(平均値1.7)となり、植物と動物プランクトンとから算出した腐水指数は概ね同様の値であった。(図1)。これらの値は、いずれもPANTLEとBUCKによる水質階級²⁾のα段階(貧腐水性)からβ段階(中腐水性)に分類され、30年間にわたって安定して推移していた。

3.2 植物プランクトンの評価方法

総細胞数及び総細胞体積の推移とクロロフィルaの濃度推移との関係は、それぞれ図2及び図3のとおりであった。総細胞体積とクロロフィルaとの相関係数は0.34となり、

総細胞数の0.29を上回った。他の文献⁵⁾⁶⁾において細胞体積による現存量の評価の有効性が示されており、湯ノ湖においても、細胞体積による現存量の評価が適切と考え、植物プランクトンについては、細胞体積に換算した値を用いて2.3~2.7節の解析を実施することとした。

3.3 現存量の推移

植物プランクトンについて、綱別の出現体積の推移及びCODとの相関は図4及び図5のとおりである。珪藻綱が最も多く出現していたが、総細胞体積は減少傾向であった。また、CODとは正の相関(相関係数0.41)を示しており、植物プランクトンの増加は、CODに代表される有機物の増加につながることを示唆された。なお、近年の湯ノ湖のCODは、環境基準を達成している。

動物プランクトンについて、綱別の出現個体数の推移及びCODとの相関を図6及び図7に示す。輪虫綱、次いで鯰脚亜綱が多く出現し、CODとの相関は非常に弱かった。

3.4 優占種の変遷

細胞体積換算による植物プランクトンの優占種の変遷から作成したプランクトンカレンダーを表3に示す。計240回の調査において、最も頻繁に優占したのは*Asterionella formosa*で、*Uroglena americana*、*Fragilaria crotonensis*と続いた。珪藻綱が全体の57%を占め、特に4、5月では83%このぼった。6~11月には珪藻綱が48%、次いで黄色鞭毛藻綱及び褐色鞭毛藻綱がそれぞれ22%を占めた。平成26年及び平成27年には、それ以前とは異なり、*Oocystis*属等の緑藻類が頻繁に優占した。

動物プランクトンカレンダーを表4に示す。最も頻繁に優占したのは*Bosmina longirostris*で、*Keratella quadrata*、*Keratella quadrata divergens*と続いた。綱別では、鯰脚亜綱が最も多く、6~11月の56%を占めたが、4、5月では6.7%にとどまった。続く輪虫綱は、4、5月の78%を占め、6~11月では30%であった。平成26年及び平成27年には、*Naplius*等、鯰脚亜綱の幼生が頻繁に優占した。

植物プランクトン及び動物プランクトンのいずれにおいても、直近の優占種が従来と異なる傾向を示していることから、今後も調査を継続し、出現種を注視していく必要があると考えた。

3.5 季節ごとの優占種の特徴

春、夏及び秋のそれぞれにおける、植物プランクトンの優占種の綱別、属別の割合を図8、9及び10に示す。春は、珪藻綱が83%を占め、属別にみると、ハリケイソウ属、ホシガタケイソウ属、アウラコセイラ属が多くを占めていた。また、夏は、珪藻綱に加えて褐色鞭毛藻綱、黄色鞭毛藻綱が頻繁に優占した。属別では、珪藻綱では、ホシガタケイソウ属及びオビケイソウ属、褐色鞭毛藻綱ではクリプトモナス属、黄色鞭毛藻綱ではウログレナ属が多く優占した。秋は、夏と類似した傾向であったが、珪藻綱では、春にも

みられたアウラコセイラ属が多く優占した。

動物プランクトンについて、季節ごとの優占種の割合を図11、12及び13に示す。春は、輪虫綱が78%を占め、その大部分がカメノコウワムシ属であった。夏は、輪虫綱に加えて鯉脚亜綱が頻繁に優占し、鯉脚亜綱ではゾウミジンコ属が多くを占めていた。秋は、夏と類似した傾向だったが、鯉脚亜綱ではミジンコ属も多く優占した。

3.6 全窒素・全りん比（以下、「N/P」という）との関係

解析対象の植物プランクトンが優占種となったときのN/Pを図14に示す。N/Pの平均値は22であったが、アウラコセイラ属は、N/Pが比較的高値となった場合（平均値27）に、ホシガタケイソウ属（平均値19）及びハリケイソウ（平均値17）は低値となった場合に優占した。植物プランクトンについては、種類によって優占しやすいN/Pが異なることが分かった。

動物プランクトンについては、明らかな傾向はみられなかった（図15）。

3.7 水温及び季節との関係

解析対象の植物プランクトンの出現体積と、月毎の水温との関係を図9に示す。なお、点の面積は出現体積に比例する。アウラコセイラ属は、春と秋の水温が15℃未満の場合に出現していたが、秋の方が出現体積が大きかった。これは、藤田ら¹³⁾の調査結果と概ね同様の傾向であった。ホシガタケイソウ属は、特に4月から6月にかけて多く出現した。オビケイソウ属は夏に、ハリケイソウ属は春の水温が低いときに多く出現した。

一方、動物プランクトンについては図10のとおりであった。春から初夏にかけてはカメノコウワムシ属が多く、ミジンコ属及びゾウミジンコ属は初夏以降に増加し、3.5と概ね同様の傾向となった。

植物及び動物プランクトンのいずれについても、水温及び季節によって、出現体積（数）に特徴が見られた。

4 結語

腐水指数から見ると、湯ノ湖の水質は概ね安定して推移

していた。プランクトンの出現状況は季節、水温及びN/Pの影響を受けていた。近年の優占種はそれ以前とは異なる傾向を示しているため、今後も調査を継続し、出現状況を注視していく必要があると考えられた。

5 引用文献

- 1) 栃木県：栃木県水質年表（昭和61年度～平成27年度）
- 2) ウラディミール・スラディチェック：淡水指標生物図鑑、北隆館（1991）
- 3) 日本水道協会：上水試験方法（1985）
- 4) 若林、一瀬：琵琶湖のプランクトン、滋賀県衛生環境センター（1982）
- 5) 一瀬ら：琵琶湖の植物プランクトンの形態に基づく生物量の簡易推定について、滋賀県立衛生環境センター所報、30、27-35（1995）
- 6) 高橋ら：細胞体積値を用いた植物プランクトン現存量の評価、水道協会雑誌第75巻第2号（2006）
- 7) 一瀬：琵琶湖における植物プランクトン種名一覧と平均細胞体積表
www5f.biglobe.ne.jp/.../biwako_syokubutu_plankton.xls（2017閲覧）
- 8) 岸本、一瀬：琵琶湖の植物プランクトン細胞容積および細胞有機炭素量（2009）
- 9) 小日向ら：2013年春～夏の沖宿沖における動植物プランクトンの動態、茨城県霞ヶ浦環境科学センター年報No9（2013）
- 10) 藤田ら：湖沼の富栄養化要因に係る解析調査（第2報）—湯の湖・中禅寺湖における植物プランクトンの優占種と窒素、りん、水温との関係について—、栃木県保健環境センター年報第1号（1995）

謝辞

本研究にあたり御助言を賜りました、琵琶湖環境科学研究センターの一瀬諭専門員に深謝いたします。

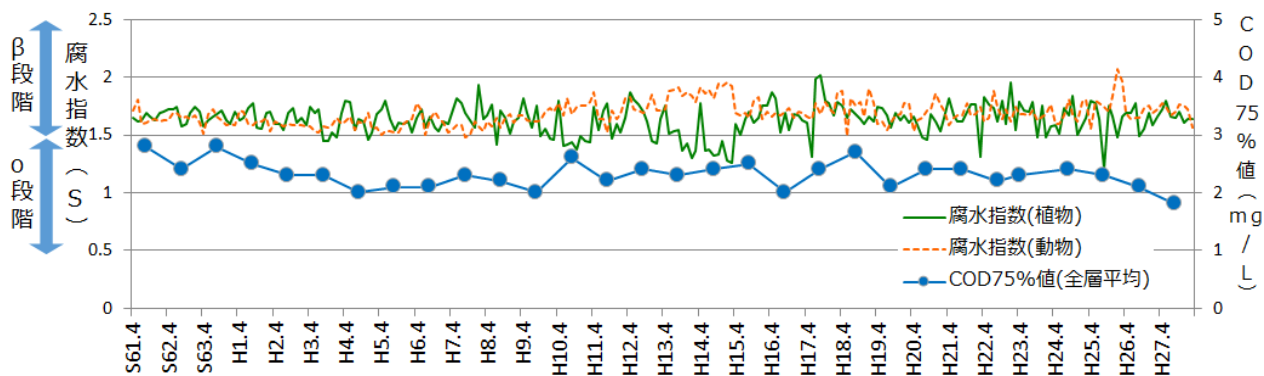


図1 腐水指数の推移

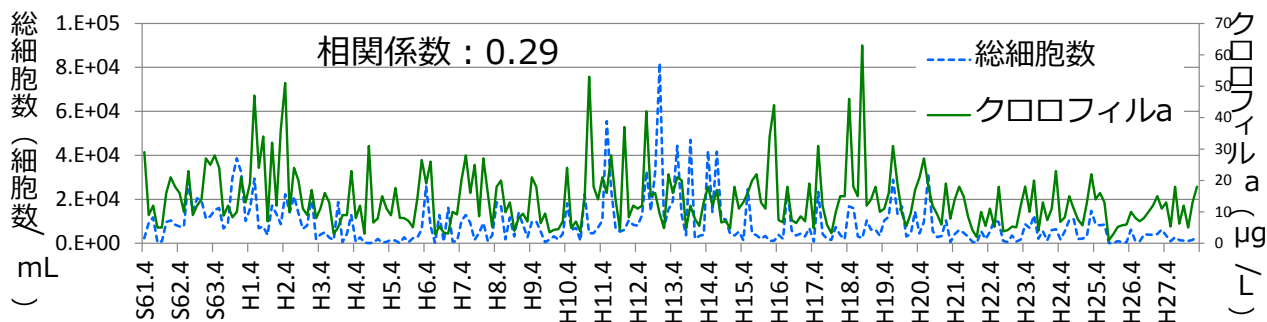


図2 植物プランクトン総細胞数とクロロフィル a の推移

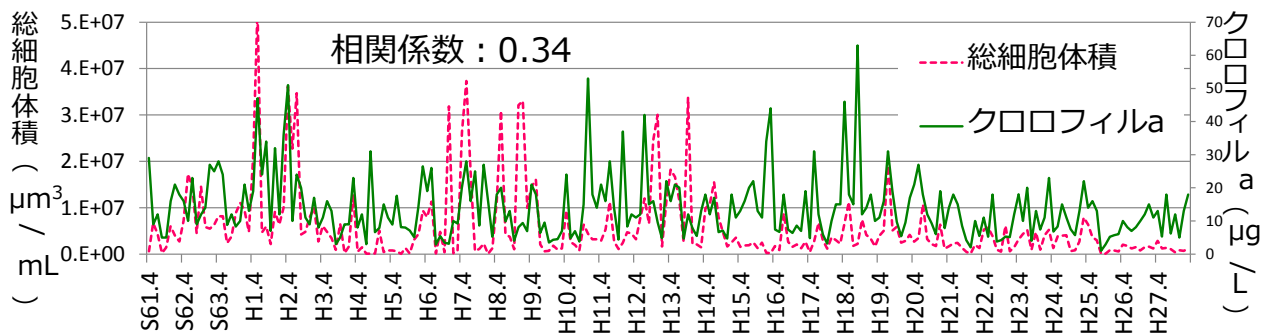


図3 植物プランクトン総細胞体積とクロロフィル a の推移

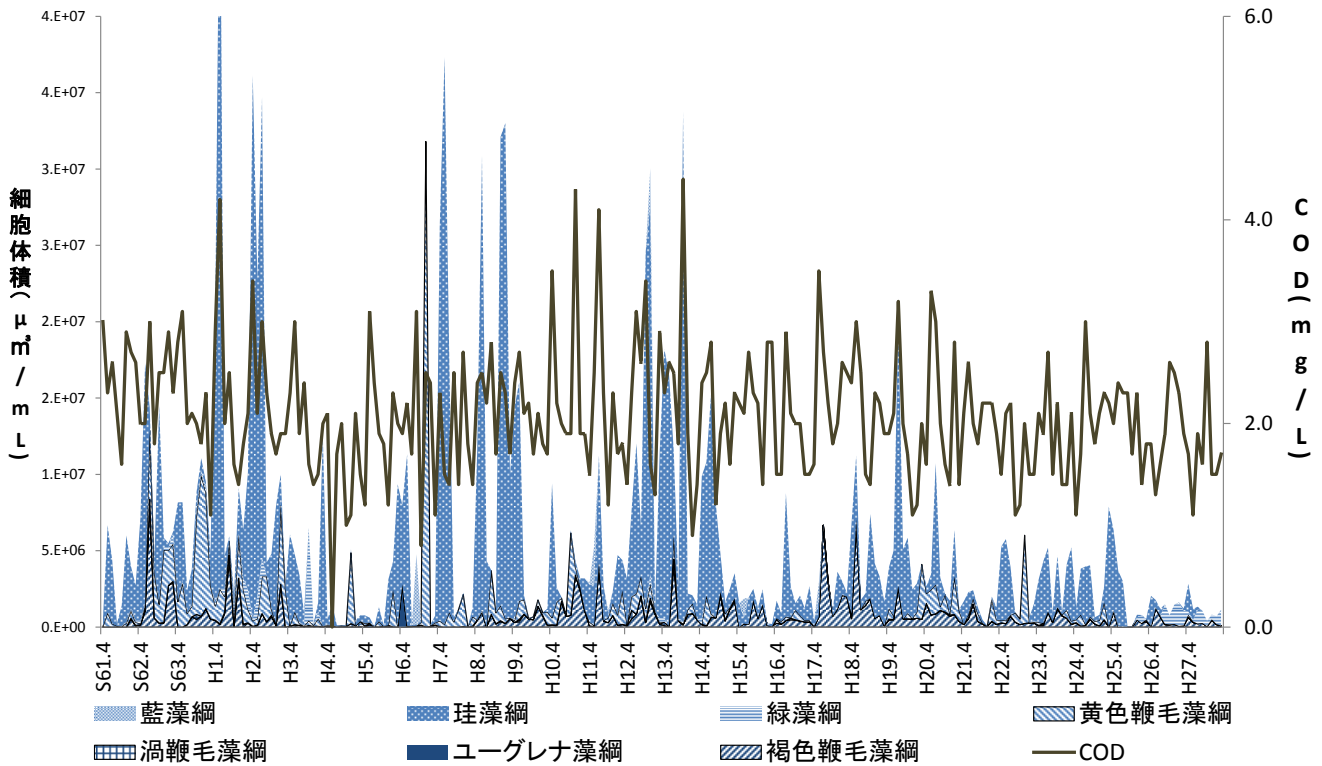


図4 植物プランクトン綱別総細胞体積とCODの推移

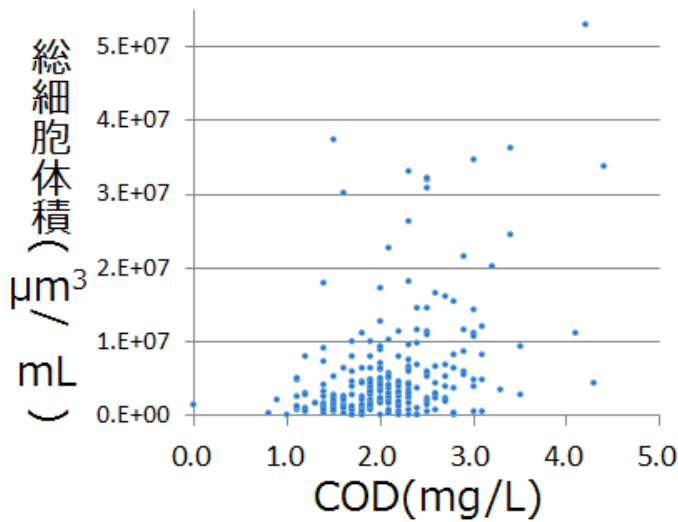


図5 総細胞体とCODの関係(植物)

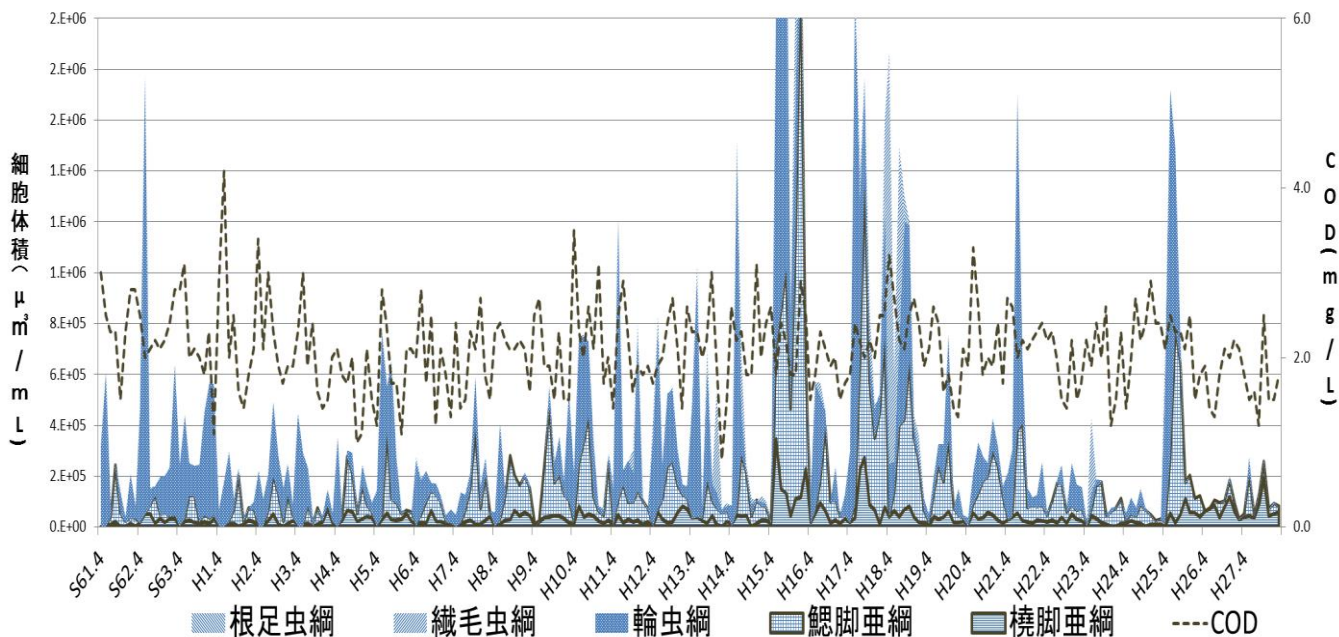


図 6 動物プランクトン綱別総細胞体積と COD の推移

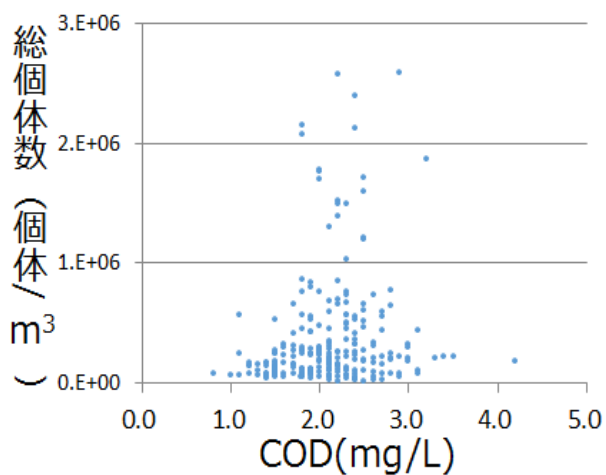


図 7 総個体数と COD の関係 (動物)

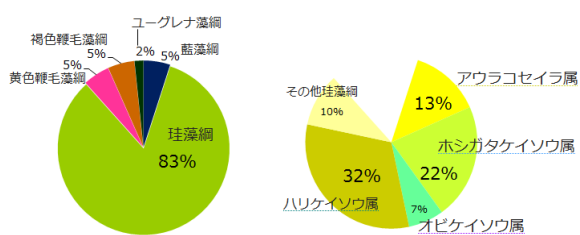


図 8 季節毎の優占種 (植物・春)

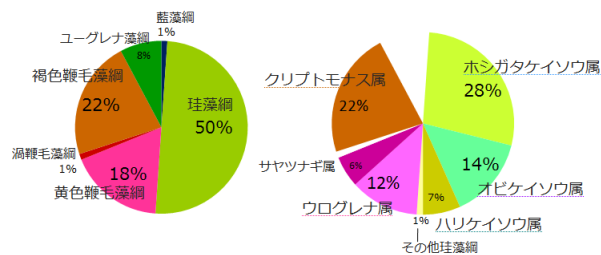


図 9 季節毎の優占種 (植物・夏)

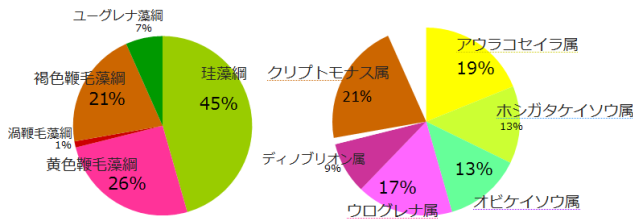


図10 季節毎の優占種 (植物・秋)

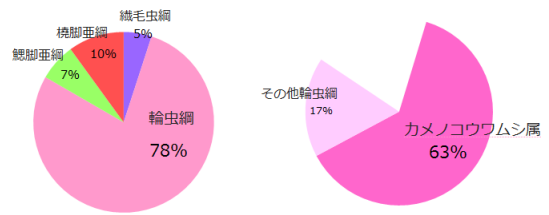


図11 季節毎の優占種 (動物・春)

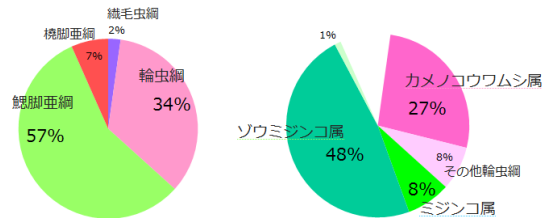


図12 季節毎の優占種 (動物・夏)

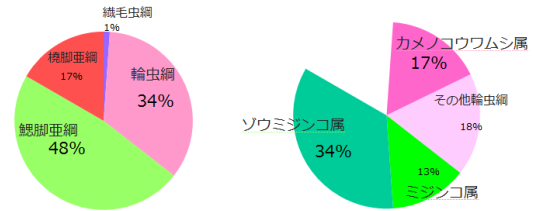


図13 季節毎の優占種 (動物・秋)

表3 植物プランクトンカレンダー

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
S61	AuGA	SvA	AsF	SvA	Sypp	FrCr	AuGA	AuGA
S62	SyA	SvA	CrO	UrA	FrCr	UrA	CrO	CrO
S63	FrCr	UrA	AsF	AsF	UrA	UrA	UrA	UrA
H1	SyA	SvA	UrA	CrO	ClG	CrO	UrA	AuG
H2	SyA	SvA	SvA	UrA	FrCr	FrCr	UrA	DiC
H3	SvA	SvA	Sypp	FrCr	SpS	UrA	UrA	AuL
H4	AuG	SvA	AsF	DiS	DiS	DiS	AuG	ClG
H5	Fr	Fr	Cym	AsF	Fr	AuG	DiD	AuG
H6	Fr	SvA	Crp	Cy	DiS	DiD	DiD	AuA
H7	Syp	Syp	Syp	DiD	UrA	UrA	AuA	UrA
H8	AuA	SvA	SvA	UrA	UrA	AuA	AuA	AuA
H9	SvA	SvA	UrA	CrE	CrE	CrE	CrE	UrA
H10	StH	Oc	CrE	CrE	UrA	CrE	CrE	AsF
H11	AsF	Sy	AsF	AsF	Crp	UrA	FrCo	FrCo
H12	AsF	AsF	AsF	AsF	FrCr	FrCr	Crp	FrCr
H13	DiT	AsF	Crp	FrCr	FrCr	FrCr	Crp	AsF
H14	AsF	SvA	AsF	FrCr	AsF	AsF	Crpp	Crpp
H15	DiT	Sy	AsF	Cr	Cr	Cr	AsF	AsF
H16	FrCG	DiE	AsF	AsF	UrA	FrCr	AsF	AsF
H17	AsF	Sy	Cr	Cr	Cr	AsF	Cr	Crp
H18	AsF	Cr	Cr	Cr	FrCr	FrCr	AsF	AsF
H19	AsF	AsF	FrCr	AsF	AsF	FrCr	FrCr	UrA
H20	Crp	UrA	AsF	FrCr	Crp	AsF	AsF	DiC
H21	AsF	AsF	Crp	UrA	FrCr	Crp	UrA	FrCr
H22	AuLT	AuLT	AsF	DiG	DiD	DiD	AuLT	AuLT
H23	AsF	DiE	AsF	AsF	FrCr	Crp	AuLT	AuLT
H24	AuLT	AuLT	AsF	AsF	AsF	UrA	DiD	AuLT
H25	AuLT	AsF	AsF	AsF	Crpp	Crpp	Mo	Cr
H26	St	Crp	Crp	SpS	Oo	Oo	Oo	Oo
H27	SvA	SvA	Oo	Co	Oo	Crp	Oo	Oo

- 藍藻綱
- Cy *Cyanophyceae sp.*
- Sy *Synechocystis sp.*
- 珪藻綱
- AuGA *Aulacoseira granulata v. angustissima f. spiralis*
- AuG *Aulacoseira granulata*
- AuLT *Aulacoseira longispina v. tenuis*
- AuL *Aulacoseira longispina*
- AuA *Aulacoseira ambigua*
- StH *Stephanodiscus hantzschii*
- St *Stephanodiscus sp.*
- DiE *Diatoma elongatum*
- DiT *Diatoma tenuis*
- AsF *Asterionella formosa*
- FrCr *Fragilaria crotonensis*
- FrCG *Fragilaria capucina var. gracilis*
- FrCo *Fragilaria construens*
- Fr *Fragilaria spp.*
- SyA *Synedra acus*
- Syp *Synedra sp.*
- Sypp *Synedra spp.*
- Cym *Cymbella spp.*
- 黄色鞭毛藻綱
- UrA *Uroglena americana*
- DiC *Dinobryon cylindricum*
- DiD *Dinobryon divergens*
- DiS *Dinobryon sertularia*
- Oc *Ochromonadaceae*
- 渦鞭毛藻綱
- ClG *Glenodinium sp.*
- 褐色鞭毛藻綱
- CrE *Cryptomonas erosa*
- CrO *Cryptomonas ovata*
- Crp *Cryptomonas sp.*
- Crpp *Cryptomonas spp.*
- Cr *Crptomonadaceae*
- ミドリムシ藻綱
- Tr *Trachelomonas sp.*
- 緑藻綱
- SpS *Sphaerocystis schroeteri*
- Oo *Oocystis sp.*
- Mo *Mougeotia sp.*
- ClG *Closterium gracile*
- Co *Cosmarium sp.*

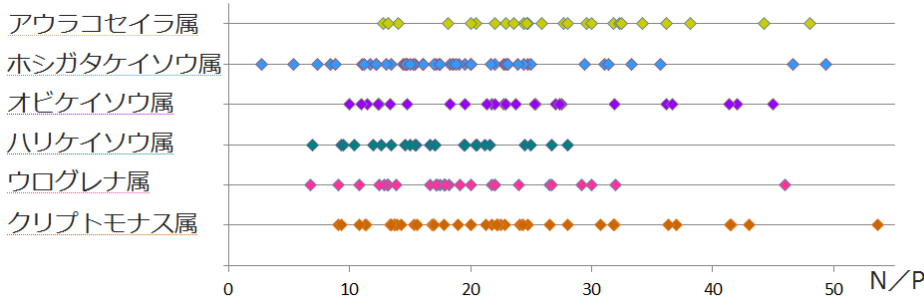


図 14 優占時の N/P (植物)

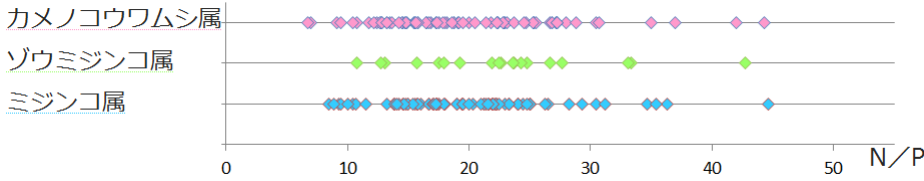


図 15 優占時の N/P (動物)

表 4 動物プランクトンカレンダー

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	
S61	KeQD	KeQD	BoL	BoL	As	KeCM	PoV	KeCM	織毛虫綱 Tid <i>Tintinnidium sp.</i> Tip <i>Tintinnopsis sp.</i> Vo <i>Voticella sp.</i> Pe <i>Peitrichida</i>
S62	FiL	KeQD	PoV	BoL	PoV	As	FiL	KeCM	
S63	KeQD	Sy	KeGM	FiL	KeQD	KeGM	KeGM	KeGM	
H1	KeQD	KeQD	KeQD	BoL	BoL	As	BoL	BoL	
H2	KeQD	KeQD	KeQD	KeQD	FiL	FiL	As	KeQD	
H3	KeQD	KeQD	KeQD	KeQD	Br	AcV	Na	KeQD	
H4	KeQ	Na	BoL	BoL	DaL	Sy	As	As	
H5	KeQ	KeQ	BoL	KeQ	KeQ	Na	Na	BoL	
H6	KeQ	KeQ	KeQ	BoL	DaL	DaL	PoV	As	
H7	KeQ	KeQ	KeQ	BoL	BoL	KeQ	BoL	Na	
H8	KeQ	KeQ	BoL	BoL	Da	Da	BoL	BoL	
H9	Na	Na	BoL	BoL	BoL	BoL	BoL	KeQ	
H10	KeQ	KeQ	KeQ	BoL	KeQ	DaL	BoL	BoL	
H11	Sy	Po	BoL	KeQ	Tid	FiL	BoL	BoL	
H12	KeQ	KeQ	KeQ	BoL	KeQ	KeQ	Na	Na	
H13	KeQ	KeQ	KeQ	Sy	BoL	Pe	BoL	BoL	
H14	KeQ	KeQ	BoL	BoL	BoL	DaL	BoL	DaL	
H15	KeQ	KeQ	KeQ	KeQ	BoL	BoL	BoL	BoL	
H16	KeQ	KeQ	KeQ	BoL	BoL	KeL	DaL	As	
H17	KeQ	KeQ	BoL	BoL	BoL	BoL	BoL	BoL	
H18	Tip	Tip	Vo	FiL	BoL	BoL	BoL	As	
H19	Sy	BoL	BoL	BoL	KeC	DaL	As	Na	
H20	KeQ	KeQ	KeQ	BoL	BoL	BoL	BoL	BoL	
H21	KeQ	KeQ	KeQ	BoL	KeQ	BoL	DaL	KeQ	
H22	BoL	BoL	DaL	DaL	DaL	Sy	KeQ	KeQ	
H23	Sy	Tip	BoL	BoL	BoL	BoL	BoL	BoL	
H24	Sy	KeQ	BoL	BoL	BoL	BoL	DaL	DaL	
H25	KeQ	KeQ	BoL	BoL	Na	DaL	Na	Da	
H26	Na	Co	Na	Da	Na	Na	Na	Co	
H27	Na	BoL	Na	Na	Na	Co	Na	Na	

- 織毛虫綱**
- Tid *Tintinnidium sp.*
- Tip *Tintinnopsis sp.*
- Vo *Voticella sp.*
- Pe *Peitrichida*
- 輪虫綱**
- KeCM *Keratella cochlearis*
c.var.macracantha
- KeC *Keratella cochlearis*
- KeQD *Keratella quadrata divergens*
- KeQ *Keratella quadrata*
- KeL *KeLicottia longispina*
- PoV *Poyarthra vulgaris*
- Po *Poyarthra sp.*
- FiL *Filinia longiseta*
- As *Aslanchna sp.*
- Sy *Sychaeta sp.*
- 總脚亜綱**
- As *Aslanchna priodonta*
- BoL *Bosmina longirostris*
- DaL *Dahnia longispina*
- Da *Dahnia spp.*
- Br *Brnchioda*
- 橈脚亜綱**
- AcV *Acanthocyclops vernalis*
- Co *Coepodid*
- Na *Naplius*

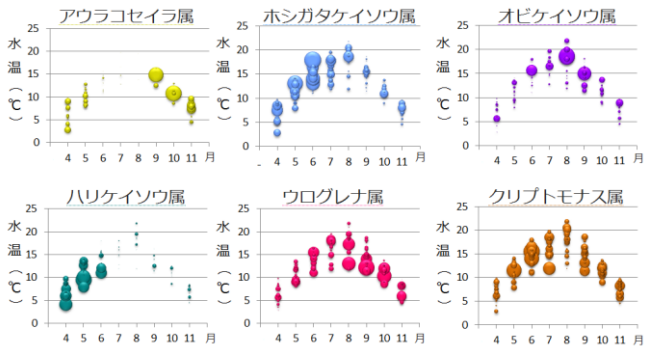


図 16 水温及び季節との関係 (植物)

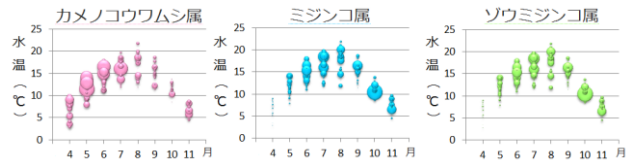


図 17 水温及び季節との関係 (動物)