

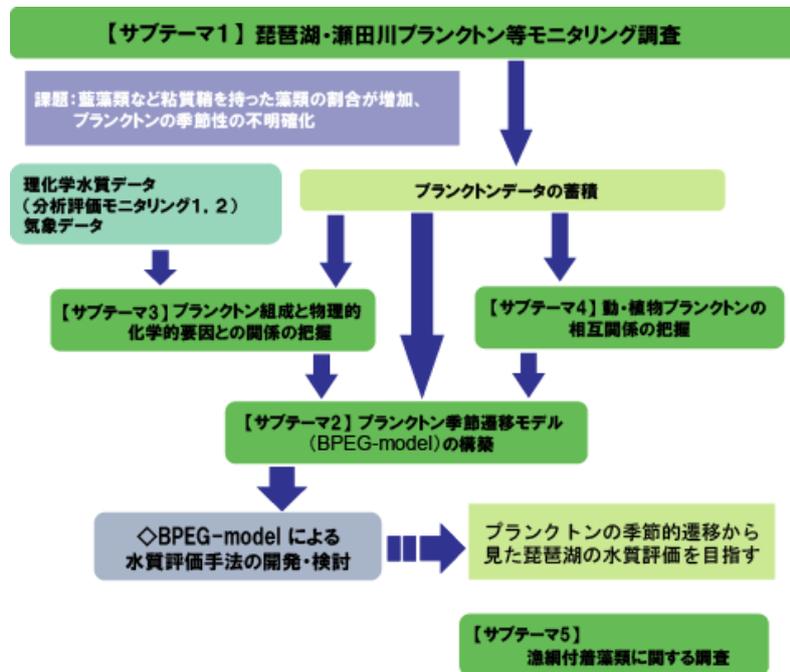
# プランクトンの季節的遷移から見た水質評価手法の検討

藤原 直樹・一瀬 諭・廣瀬 佳則・古田 世子・池田 将平<sup>1)</sup>・大前 信輔<sup>2)</sup>・池谷 仁里<sup>3)</sup>

## 1. 目的

プランクトンは食物連鎖の基底をなすほか、アオコや赤潮の発生の要因になるなど、水質形成の重要な要素であり、水質を評価するためには、窒素・リン・BOD・COD といった理化学的調査結果と併せてプランクトンの変動を見ることが不可欠である。

本研究では、プランクトンの発生状況を定期的に把握し、水質に異常がないか現状を監視するとともに、プランクトンのモニタリングデータをもとに、季節的遷移とその変化の要因となりうる水質・気象変動などがどのような関係にあるのかを整理する。



研究全体のイメージ

## 2. 研究内容と結果

### 【サブテーマ(1) 琵琶湖・瀬田川プランクトン等モニタリング調査】

#### ◇琵琶湖プランクトン調査

プランクトン等の長期的な動態を把握し、琵琶湖水質の評価を行うため、琵琶湖・瀬田川において、モニタリング調査を行った。湖水 1mL をプランクトン計数板に取り、光学顕微鏡下で藻類の種同定および計数を行った。検出された藻類は、一瀬ら (2007) の方法で種類ごとに細胞容積に換算した。

平成 23 年度から平成 25 年度 12 月までの今津沖中央における植物プランクトンの遷移を図 1 に示した。

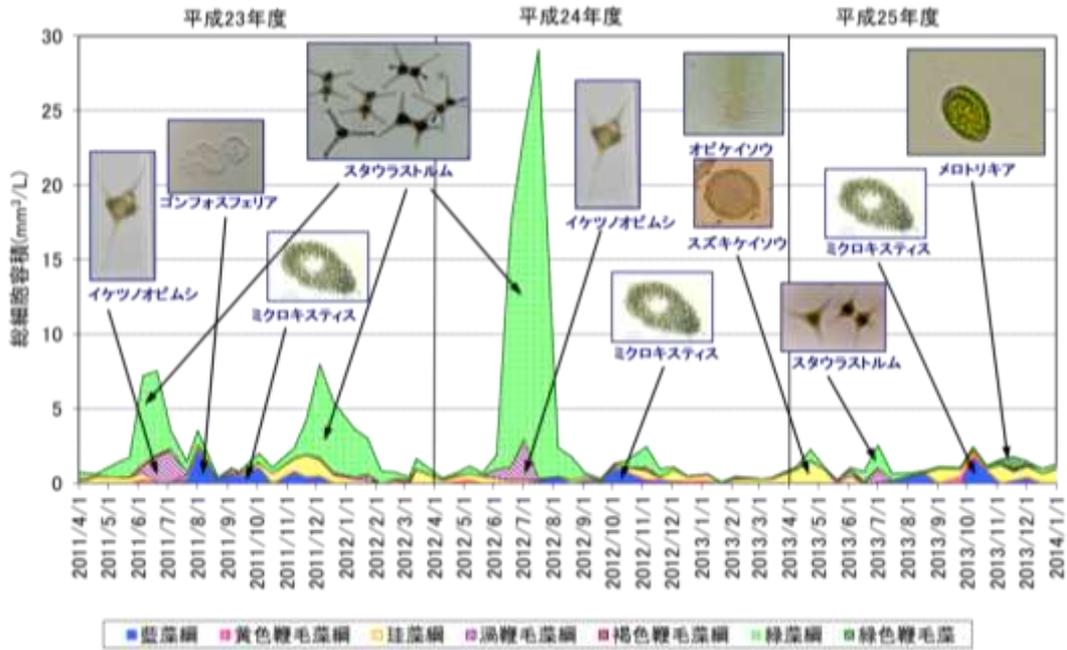


図1 北湖における植物プランクトン総細胞容積の変動（今津沖中央 0.5m 層）

- 平成 23 年度には、6 月および 11 月～1 月に大型緑藻スタウラストルム (*Staurastrum dorsidentiferum* var. *ornatum*) の増加が見られた。
- 平成 24 年度には、6 月～7 月にスタウラストルムの大増殖（ブルーム）が見られ、その後は少ないプランクトン量で推移した。
- 平成 25 年度には、植物プランクトンの大きな増加は見られなかった。この年度の 11 月以降、緑色鞭毛藻メロトリキア (*Merotorichia capitata*) が、昭和 53 年から実施している本調査の中で初めて観測され、11 月 18 日の調査では本種が優占種となった。

◇瀬田川プランクトン調査

毎週実施している瀬田川プランクトン調査における *Uroglena americana* (ウログレナ) の年度ごとの季節遷移を図 2 に示した。

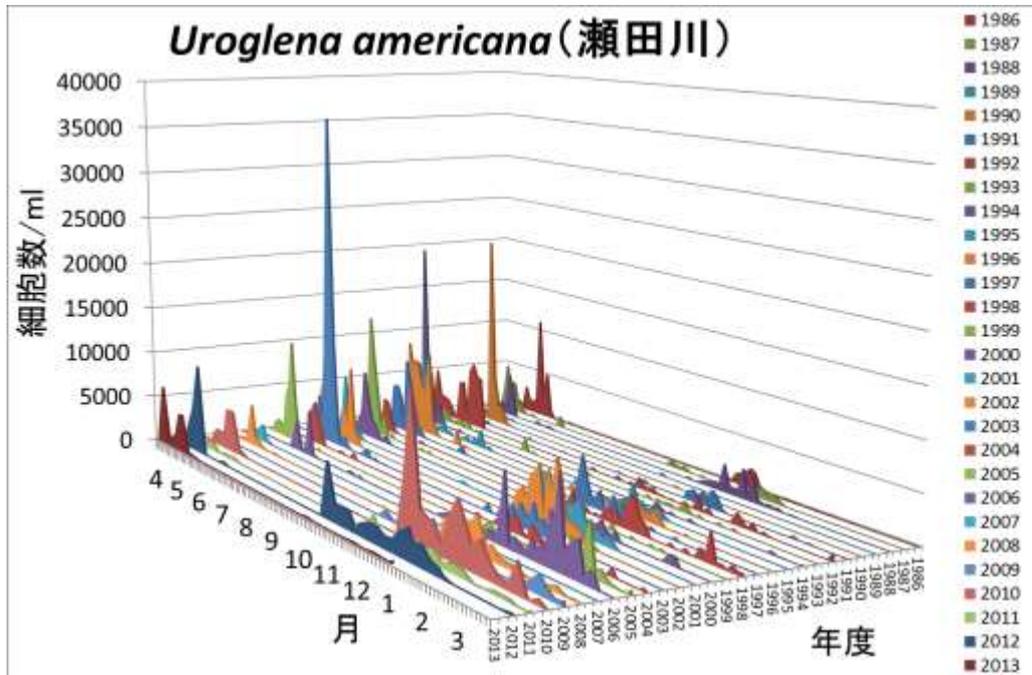


図 2 瀬田川（瀬田唐橋）におけるウログレナの季節遷移

○ウログレナは、淡水赤潮の原因藻類で、水道水の生ぐさ臭の原因ともなっている。春季の細胞密度については、平成 15 年度（2003 年度）の 5 月に大きくなったのちは比較的小さくなっている。一方、秋季から冬季の細胞密度については、1990 年代の後半以降大きくなり、出現が長期化する年度が多くなっている。

○平成 16 年度(2004 年度)以降、淡水赤潮の発生はほとんど見られなくなっている一方で、秋季から冬季にかけてのウログレナの長期出現により、湖水の生ぐさ臭発生が長期化している。しかし、平成 25 年度については、秋季から冬季にかけてのウログレナの細胞密度は低い状態で推移している。

【サブテーマ(2) プランクトン季節遷移モデル(BPEG-model)の構築】

昭和 53 年（1978 年）から継続して実施しているプランクトンのモニタリング結果をもとに、年毎の優占種の遷移パターンをプランクトンカレンダーとしてとりまとめた（図 3）。このカレンダーは、琵琶湖におけるプランクトンの季節遷移パターンを記述式に示す「プランクトン季節遷移モデル (BPEG-model)」の基となり、気象や水質との関係、富栄養化以前のプランクトン季節遷移との違いから、琵琶湖の水質および生態系の評価を行うためのツールとなる。



【優占種となる回数】

○1978年からの846回の調査の中で最も優占種となる回数が多かった種は、318回(38%)を占めたスタウラストルムであった。次いで、スズキケイソウ (*Stephanodiscus suzukii*) が62回(7.3%)、クロステリウム (*Closterium aciculare* var. *subpronum*) が57回(6.7%)であった。網別にみると最も頻繁に優占種となったのは緑藻綱の60%で、次いで珪藻綱19%、渦鞭毛藻綱6.5%、藍藻綱5.2%、黄色鞭毛藻綱5.0%、褐色鞭毛藻綱4.4%の順であった。

【季節別の優占種】

○季節別に見ると、1月～4月および12月にはスズキケイソウ、オビケイソウ (*Fragilaria crotonensis*) などの珪藻綱が優占する頻度が増加し、特に3月、4月には緑藻綱の頻度を上回った。5月にはウログレナ主体の黄色鞭毛藻綱が最も多く優占種となった。6月～11月には緑藻綱の優占頻度が高いが、7月～10月の間には藍藻綱の優占種となる比率が10%以上あった。

【期間別の優占種】

○1978年～2013年を3つの期間に分けて見る(図4)と、4、5月に黄色鞭毛藻が優占する比率は、第1期(1978年～1989年)には57%だったが、第2期(1990年～2001年)には48%、第3期(2002年～2013年)には22%と低下傾向にある。一方藍藻が優占種となる比率は、第1期に1.8%、第2期に2.8%、第3期に11%と増加している。特に9月を見ると第3期には藍藻が優占種となる比率は42%であった。

○最も頻繁に優占種となるスタウラストルムは、第1期では優占種となる比率が7月～11月には50%以上、3月～6月には5%未満と出現季節が明瞭であったのに対し、第3期では50%以上となるのは11月(71%)のみ、4月17%、5月22%、その他の月には29～46%と出現季節が不明瞭となっている。



図4 北湖における植物プランクトン優占種の網別比率の変化(今津沖中央0.5m層、細胞容積換算)

○富栄養化が大きく進行する以前だと考えられる、1952年の植物プランクトン優占種の季節遷移(根来, 1956, 1981)を見てみると(表1)、スズキケイソウ (*Stephanodiscus suzukii*)、アウラコセイラ・ニッポニカ (*Aulacoseira nipponica*)、ジャバラケイソウ (*Acanthoceras zachariasii*) 等の珪藻(表中黄色網掛)が長期間優占種となっている。

表1 北湖における植物プランクトン優占種の年間遷移(1952年)

データ:根来(1956, 1981)	
1-3月	<i>Stephanodiscus suzukii</i>
4月	<i>Aulacoseira nipponica</i>
5月	<i>Asterionella formosa</i>
6月	<i>Acanthoceras zachariasii</i>
7月	<i>Ceratium hirundinella</i>
8-9月	<i>Pediastrum biwae</i>
10月	<i>Acanthoceras zachariasii</i>
11-12月	<i>Aulacoseira nipponica</i>

○1978年以降の優占種として上位1位と3位の種で

ある、スタウラストルムとクロステリウムについて、根来(1981)は、琵琶湖のプランクトンとしては以前から見られたが、クロステリウムが1958年に、スタウラストルムが1961年に初めて大増殖を起こすまでは、

優占種になることはなかったと記している。

○36年間の植物プランクトン組成を見ても、直近5年間で見ても、最も優占種となる頻度が高いのは大型緑藻であるスタウラストルムであり、また、平成24年に本種の大増殖が起こっていることから、プランクトン種構成、現存量いずれから見ても、琵琶湖北湖の水環境は珪藻が優占していた富栄養化以前のレベルまでにはまだ戻っていないと評価できる。

【サブテーマ(3) プランクトン組成と物理的・化学的要因との関係の把握】

栄養塩濃度に対する粘質鞘産生特性を把握するため、窒素添加条件、りん添加条件、窒素+りん添加条件と無添加条件でスタウラストルムの培養実験を行った。

○実験の結果、窒素添加条件でスタウラストルムの1細胞あたりの粘質鞘産生量が増加することが明らかになった(図5)。この結果は、湖水中の窒素濃度の上昇によって粘質鞘由来の湖内有機物生産量が増加する可能性を示している。

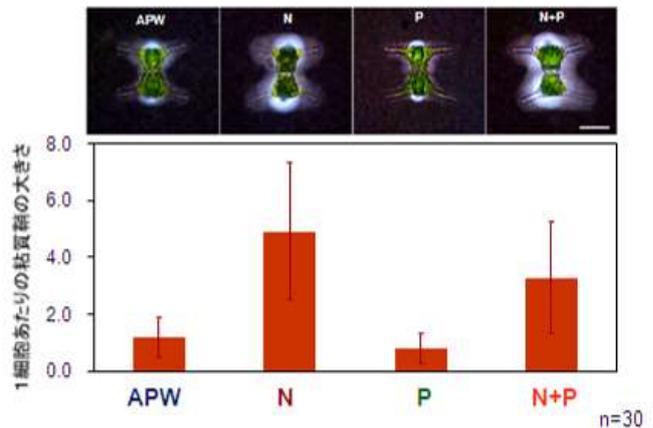


図5 窒素・りん添加によるスタウラストルムの粘質鞘の大きさの比較

APW：人口池水、N：窒素添加、P：りん添加、N+P：窒素・りん添加

【サブテーマ(4) 動・植物プランクトンの相互関係の把握】

プランクトンの捕食・被食関係を把握するために、動物プランクトン種毎の摂食サイズまたは、餌対象生物を文献から調べた(表2)。

○琵琶湖で最も現存量の大きい植物プランクトンであるスタウラストルムは、腕状突起を含む細胞の長さが47~94μm、幅が90~103μm(廣瀬, 1977)と非常に大きいため、大型のミジンコである *Daphnia pulicaria* でも摂食不可能である。

○平成24年にはスタウラストルムの大増殖が発生し、その結果アユの餌となるミジンコが摂食できるサイズの植物プランクトンが極めて少なくなっており、同年のアユの減少要因の一つとなったと考えられる。

表2 ミジンコ類のメッシュサイズと最大摂食サイズの比較

種名	メッシュサイズ(μm)	Ref.	最大摂食サイズ(μm)	Ref.
<i>Daphnia galeata</i>	0.32-1.0	1	35	1
<i>Daphnia pulicaria</i>	0.45-1.4	1	40	1
<i>Daphnia longispina</i>	0.17-0.36	2		
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	0.16-0.24	1	15	1
<i>Bosmina longirostris</i>	0.43-0.97	3	15	1
<i>Chydorus sphaericus</i>	0.24-0.4	1	20	1

y: 最大摂食サイズ(μm)	x: carapace length(mm)	
	$y = 22x + 4.87$	4

1) Geller & Müller(1981) 2) Nagata(1985) 3) Tóth & Kato(1997) 4) Burns(1968)

【サブテーマ(5) 漁網付着藻類に関する調査】

刺網への藻類の付着状況を把握するため、操業刺網付着藻類種組成調査を実施した(図6)。

○調査の結果、刺網に付着していた藻類のほとんどが、付着性藻類(湖底、湖岸、水草等に付着して生活)ではなく、プランクトン性の藻類であり、その中でも



図6 刺網付着生物種組成遷移調査の方法

とも付着量（体積）が大きかったのは *Mougeotia* spp.（ヒザオリ）だった（図 7）。刺網付着藻類の多くがプランクトン性の藻類であることから、刺網付着藻類の起源は湖水中のプランクトンが主体であると考えられた。プランクトン中のヒザオリの比率はさほど高くないことから、ヒザオリは刺網に付着しやすい性質を持っていると推察された。

○刺網の汚れ度合の月別分布を見ると、マット状に付着するほどの汚れを示す「Level4」となったのは6月のみであったことから、6月が刺網汚損の最も激しい時季だと考えられた（表 3）。

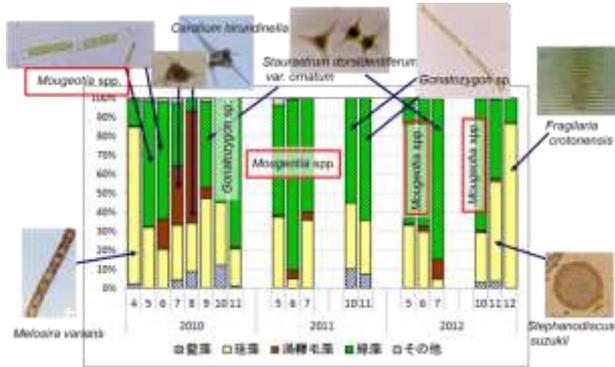


図 7 操業刺網付着藻類の構成比率（月平均値）

表 3 刺網汚れ度合の月別分布（2010～12年）

Level0：汚れなし、Level1：網地色がづく、Level2：網地に絡みつき網目を覆い始める、Level3：網目を覆う、Level4：マット状に付着してぼたぼたになる

汚れ度合	Level0	Level1	Level2	Level3	Level4
4月	0	0	1	0	0
5月	0	9	10	2	0
6月	1	9	7	2	5
7月	2	4	11	4	0
8月	0	1	0	0	0
9月	0	1	0	0	0
10月	0	1	4	3	0
11月	0	0	3	3	0
12月	0	0	1	0	0
計	3	25	37	14	5

### 3. まとめ

- 富栄養化以前の琵琶湖では、夏季以外には珪藻が優占するというプランクトン組成であったが、富栄養化の進行とともに緑藻主体の組成に変化し、また、時に植物プランクトンの大増殖が起こるようになった。
- 琵琶湖では汚濁負荷削減の取組を進めてきた結果、湖水中の窒素・りん濃度はピーク時に比べて減少しており、プランクトンの現存量も減少傾向にある。しかし、平成 24 年 6～7 月のスタウラストルムにみられたような大増殖を発生させるだけの生産能が存在している。
- スタウラストルムは、大型の植物プランクトンのため、動物プランクトンに摂食されずに沈降あるいは分解するものと考えられ、平成 24 年の大増殖時には、動物プランクトン、魚類への物質の流れが細くなっていたと推察される。琵琶湖の生態系における効率的な食物連鎖には、植物プランクトンが動物プランクトンに摂食されやすいことが重要な要素であり、この点から、大型緑藻のスタウラストルムやクロステリウムが優占するプランクトン組成は望ましくないと考えられる。
- 近年、富栄養化以前の琵琶湖で優占種となる頻度が高く、ともに琵琶湖固有の珪藻であり、1980 年代に大きく減少したスズキケイソウ (*Stephanodiscus suzuki*) や 1990 年代に激減したアウラコセイラ・ニッポニカ (*Aulacoseira nipponica*) の現存量が増しているという、富栄養化以前のプランクトン組成に戻りつつあると考えられる現象が見られる。一方、夏季～秋季に藍藻が優占種になるという富栄養化以前になかった現象も見られている。今後も、琵琶湖におけるプランクトンの動向を注視する必要がある。
- 水質とプランクトンは密接に関連しており、水質の変化がプランクトンの種組成を変化させ、またプランクトンの増減が水質に影響を与える。プランクトンの異常発生は、水道の異臭味障害や濾過障害などの悪影響を及ぼし、生態系における物質循環にゆがみを生じさせる。したがって、プランクトンのモニタリングは琵琶湖の水質保全、琵琶湖の生態系保全のために必要不可欠であり、プランクトンのモニタリング結果は、毎年琵琶湖の水質評価に活用されるとともに、水道事業者等にも活用されている。

## 引用文献

- 一瀬諭ら(2007) 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター試験研究報告書, **2**: 97-108.
- 根来健一郎(1956) 陸水学雑誌, **18**: 37-46.
- 根来健一郎(1981) 水温の研究, **25**(1): 15-19.
- 廣瀬弘幸 (1977): 日本淡水藻図鑑, 内田老鶴圃新社, 東京.
- Geller, W. and Müller, H. (1981) *Oecologia*(Berl.), **49**: 316-321.
- Nagata, T. (1985) *Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ. (Ser. Biol.)*, **10**: 109-114.
- Tóth, L. G. and Kato, K. (1997) *J. Plankton Res.*, **11**:1273-1295.
- Burns, C. W. (1986) *Limnol. Oceanogr.*, **13**:675-678