

## 4-2 瀬田川流心における植物プランクトンと放流量の関係解析

一瀬諭・藤原直樹・廣瀬佳則・古田世子・山中直

## Abstract:

琵琶湖南湖における植物プランクトン量の増減は、様々な環境要因によって左右されている。本研究では、これら植物プランクトンの変動に比較的影響が大きいと考えられる琵琶湖からの放流といった人為的な操作によって、植物プランクトン数や総細胞容積がどのように影響を受けるかについて検討を行った。その結果、植物プランクトンが季節的に多く分布する6~7月で、総放流量が $700\text{m}^3/\text{sec}$ 以上の時、南湖水の滞留日数は約3日間と短期間となり、植物プランクトン量は減少する傾向が認められた。一方、放流量が $100\text{m}^3/\text{sec}$ 以下になると滞留日数は23日間以上と長期間となり、植物プランクトン量の増加傾向が認められた。特に、表層部に浮上しアオコを形成するような藍藻種については、放流量がおよそ $100\text{m}^3/\text{sec}$ 以下になると大量発生を起しやすく、夏季の温水時には、アオコ現象が発生しやすいこと等が明らかとなった。アオコなどの発生を抑制するためには、8~9月の放流量を多くすることが望ましく、南湖水の滞留日数を増加させないような対応が望まれる。

## 1. 研究の背景と目的

琵琶湖では、下流へ流れ出る瀬田川の水を堰き止め、利水および治水に供する目的で、瀬田川洗堰で流量をコントロールして放流されている。一方、琵琶湖では、1977年5月に初めて黄色鞭毛藻ウログレナ属 *Uroglena* による「淡水赤潮」が発生し、その後、毎年のように南湖でもウログレナが大量に春季に発生するようになった。さらに、昭和58年9月からは、アナベナ属 *Anabaena* やマイクロキスティス属 *Microcystis* による「アオコ」現象が確認され（一瀬ほか、1987）。それ以来、毎年のように南湖では、植物プランクトンによる異常発生が認められている。

また、琵琶湖南湖における植物プランクトンの増加は、種類によっては chl-a 量や SS 量を増加させるだけでなく、アナベナ属は「カビ臭」を細胞内に生成し、*Uroglena* 属は「生ぐさ臭」などを生成するため、大津市や京都市の水道事業所等では、異臭味障害や浄水処理障害などが多く発生していることを八木が報告している（八木、1995）。さらに、これらの植物プランクトンが生成した異臭味を除去するためには、粉末活性炭処理設備を用いて水処理を実施するため、大量の活性炭が必要となり、南湖でこれらの種が大量発生するメカニズムを科学的に研究することは重要なことである。

本研究は、これら原因となる植物プランクトン量の変動に影響が大きいと考えられる放流の操作によって、植物プランクトンの種や総細胞容積がどのような影響を受けるかについて学術的に検討することを目的として実施した。

## 2. 研究の方法

## 2-1 調査地点および調査期間

植物プランクトン調査は、当センターが1979年から実施している瀬田川流心（図1、瀬田唐橋流心部）における植物プランクトン連続調査結果（滋賀県琵琶湖環境科



図1 プランクトン調査地点(大津市)

学研究センターHP, 2013) を用いた。

植物プランクトンの調査期間やその頻度は、表1に示したように、1987年1月から2013年12月までの27年間、週1~2回の頻度で実施したデータを用いた。また、流量については、国土交通省琵琶湖河川事務所 HP (2013) 等から引用し、1987年~2000年のデータについては瀬田川洗堰放流量を用いた。また、2001年~2013年の流量データについては、南湖（貯水量2億トンとして計算）から流出する瀬田川洗堰放流量と宇治発電所取水、琵琶湖第1疏水、第2疏水の流量との合計値を総放流量（以下「総放流量」という）として実施した。

表1 瀬田川流心における植物プランクトンと流量の使用データ

データ	プランクトンデータ(1)	流量データ(1)	プランクトンデータ(2)	流量データ(2)
地点名	瀬田川流心	瀬田川洗堰	瀬田川流心	瀬田川洗堰 <sup>(注)</sup>
地点数	1	1	1	1
期間	1987.1~2000.12	1987.1~2000.12	2001.1~2013.12	2001.1~2013.12
頻度	週1~2回	毎日	週1回	毎日
項目数	600	1/日平均	600	1/日平均
項目	ウログレナ、ミクロスティス等	流量	ウログレナ、ミクロスティス等	流量
総データ数	97,216	5,114	14,970	4,732
発行	滋賀県立衛生環境センター	国土交通省近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所	滋賀県琵琶湖環境科学 研究センター	国土交通省近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所

(注):瀬田川洗堰流量、宇治発電所取水、琵琶湖第1疏水、第2疏水の流量の合計値

2-2 植物プランクトン計数方法

採水した湖水は、1mLを界線入りプランクトン計数板に採り、生物顕微鏡を用いて各種の細胞数および群数数を計数した。藍藻については微細な細胞が集まり群を形成するため、群の大きさの単位を統一し計数を行った。

超大型種であるオンラトリア・カワムラエ *Oscillatoria kawamurae* は糸状群体の長さ1mmを1群体として計数し、それぞれ計数したものを総細胞数および総体積量に換算した。各種植物プランクトンの体積を求める換算式および各種の総体積量の算出については、一瀬ほか(1995)に準拠した。

表2 瀬田川洗堰における放流量とその頻度

1987~2000			2001~2013		
流量(m <sup>3</sup> /sec) <sup>注1</sup>		回数	流量(m <sup>3</sup> /sec) <sup>注2</sup>		回数
以上	未満		以上	未満	
~	100	2,982	~	100	2,321
100	200	1,412	100	200	1,558
200	300	293	200	300	330
300	400	252	300	400	360
400	500	12	400	500	1
500	600	14	500	600	4
600	700	52	600	700	16
700	800	82	700	800	98
800	~	15	800	~	44
合計		5,114	合計		4,732

注1:瀬田川洗堰流量

注2:瀬田川洗堰流量、宇治発電所取水、琵琶湖第1疏水、第2疏水の流量の合計値

2-3 解析方法

2-3-1 植物プランクトンの総細胞容積と放流量

1987年から2013年の各年における植物プランクトン総細胞容積と放流量の時系列的な関係をみるため、1987年~2000年および、2001~2013年の日平均放流量の経月変化(図2)に示した。

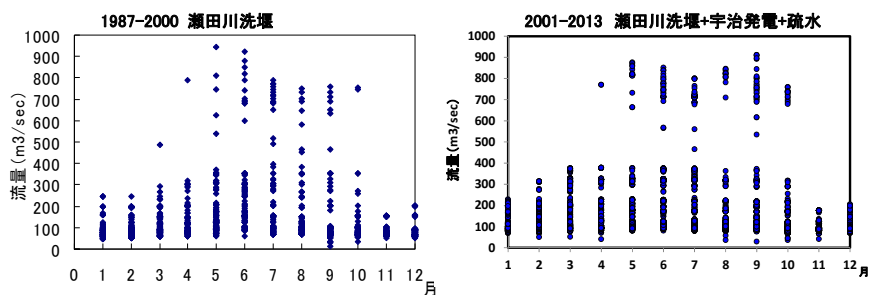


図2 瀬田川洗堰等における放流量の季節変動(1987-2013)

2-3-2 放流量とその頻度

瀬田川洗堰における放流量とその頻度について、100m<sup>3</sup>/sec 間隔で表2に示した。南湖の滞留日数の計算は2001~2013年の結果を用いて行った(表3)。

2-3-3 植物プランクトンの各種、各網と流量の検定解析

1987年~2000年のデータを用い、瀬田川流心での主要な植物プランクトン64種について総細胞容積と流量との関係について散布図を作成し、ある一定の放流量を仮

定して、仮定した値以上の放流量と仮定した値以下の放流量の平均値の差の検定(T検定)を行い有意性の検定を行った(図4)。

なお、総細胞容積が「0」値を示した値については藍藻の場合、例えば発生しにくい冬季において散布図に「0」値をプロットすることは、平均値の差の検定に信頼性を欠くため、「0」値をとるものに関しては削除することとした。

3. 結果

3-1 植物プランクトン量と放流量の年変化

過去 27 年間における植物プランクトン総細胞容積と放流量との経月変動の関係を 1 年間ごとに整理し、文末の図 18 および、図 19 に示した。さらに、2000 年以降の図 19 については、季節的なプランクトン相の変動が理解できるように総細胞容積に占める各綱の割合も示した。これらの結果から、2000 年以降、夏季に藍藻が一時的に大量発生することがみられるが、その原因は大型のアオコ形成種である *O. kawamurae* であった(一瀬ほか, 1999)。

次に、放流量の変化について表 2 および図 2 に示した。南湖における放流量は、通常時は  $100\text{m}^3/\text{sec}$  未満の放流が最も多く、全体の 84% を占めていた。また、 $400\sim 500\text{m}^3/\text{sec}$  の占める割合は 1% 以下と少ない傾向が認められた。

3-2 放流量と総細胞容積の変化

2001~2013 年の放流データを用いて、植物プランクトン調査時に  $700\text{m}^3/\text{sec}$  以上の大放流があった日数について調べた結果は、図 3 に示したように合計 25 日間であった。6~7 月が 12 日間と最も多く、この時期の大放流があった 1 週間後の植物プランクトン総細胞容積量の増減は、12 日間の中で 8 日間が減少傾向を示し、4 日間が増加傾向を示し、南湖において植物プランクトン量が多い時期である 6 月~7 月には大放流によって植物プランクトンの減少傾向が認められた。さらに、大放流が少ない時期である 8 月には  $100\text{m}^3/\text{sec}$  以下の放流により南湖水の滞留日数が長くなり植物プランクトンが増加しやすい環境になることも明らかとなった。

$700\text{m}^3/\text{sec}$  以上の大放流をした場合の南湖(貯水量 2 億  $\text{m}^3$ )の滞留日数を単純に計算した結果を表 3 に示した。 $700\text{m}^3/\text{sec}$  の放流で 3.3 日間、 $800\text{m}^3/\text{sec}$  の放流で 2.9 日間となり、大放流 1 週間後の植物プランクトン量は琵琶湖北湖で発生する植物プランクトンの現存量やその組成に左右されると推察された。

一方、放流量が  $100\text{m}^3/\text{sec}$  以下となると、南湖の滞留日数は 23 日間以上となり、植物プランクトンにとっては増加しやすい環境となることが示唆された。

3-3 植物プランクトン各種、各綱と流量との解析

1987 年~2000 年のデータを用い、主要な植物プランクトン 64 種について総細胞容積量と流量との関係について散布図を作成し、 $100\text{m}^3/\text{sec}$  ごとに平均放流量の差を T 検定で評価した結果を各綱別に述べる(表 4)。

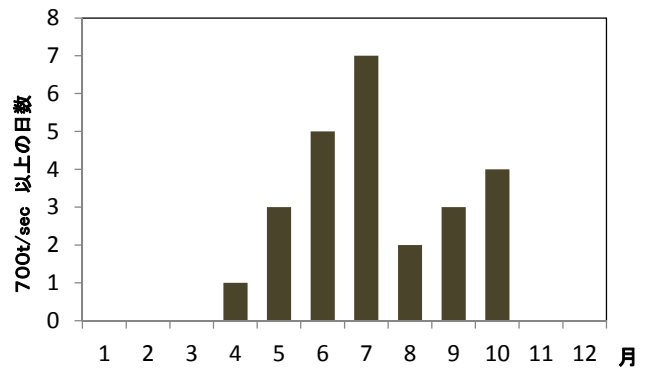


図 3 瀬田川における植物プランクトン調査時に  $700\text{m}^3/\text{sec}$  以上の放流のあった日数とその頻度(2001-2013)

表 3 琵琶湖南湖水の放流量と滞留日数

放流量	南湖の滞留日数 <sup>注</sup>
$100\text{m}^3/\text{sec}$	23.1 日間
$200\text{m}^3/\text{sec}$	11.6 日間
$300\text{m}^3/\text{sec}$	7.7 日間
$400\text{m}^3/\text{sec}$	5.7 日間
$500\text{m}^3/\text{sec}$	4.6 日間
$600\text{m}^3/\text{sec}$	3.8 日間
$700\text{m}^3/\text{sec}$	3.3 日間
$800\text{m}^3/\text{sec}$	2.9 日間
$900\text{m}^3/\text{sec}$	2.6 日間
$1000\text{m}^3/\text{sec}$	2.3 日間

注:南湖貯水量を2億トンとした単純計算値

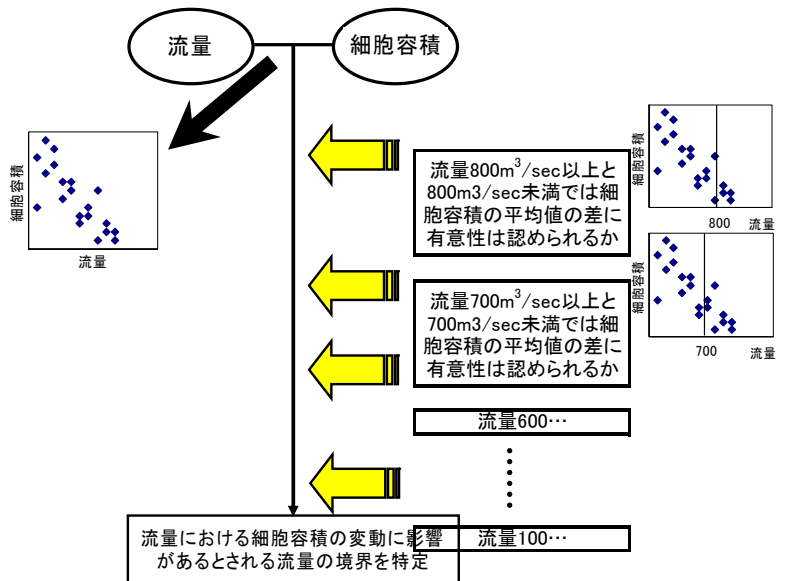


図 4 放流と植物プランクトン量の解析フロー図

表4 瀬田川流心における主要植物プランクトン種の平均値の差の検定結果(1987-2001)

綱	種	流量の境界の検定結果(単位m <sup>3</sup> /sec)							
		100	200	300	400	500	600	700	800
藍藻綱	<i>Microcystis aeruginosa</i>	*	-	-	-	-	-	***	-
	<i>Microcystis wesenbergii</i>	-	***	*	-	-	-	-	-
	<i>Microcystis incerta</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Aphanothece clathrata</i>	-	***	*	*	*	-	-	-
	<i>Chroococcus dispersus</i>	-	-	-	**	*	*	-	-
	<i>Chroococcus dispersus var. minor</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Gomphosphaeria lacustris</i>	*	*	*	-	-	-	-	-
	<i>Aphanizomenon sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Anabaena spiroides</i>	*	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Anabaena spiroides var. crassa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Anabaena affinis</i>	-	***	***	**	*	*	*	-
	<i>Oscillatoria tenuis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Oscillatoria Kawamurae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Oscillatoria sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phormidium tenue</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	
黄緑藻綱	<i>Botryosphaerella sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
黄色鞭毛藻綱	<i>Uroglena americana</i>	*	-	-	***	***	***	***	*
	<i>Dinobryon divergens</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Dinobryon bavaricum</i>	**	-	-	-	-	-	**	-
	<i>Chromulina sp.</i>	*	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Chrysamoeba radians</i>	-	-	-	***	***	***	-	-
	<i>Mallomonas tonsurata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Mallomonas akrokomos</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Mallomonas elongata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Mallomonas sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
珪藻綱	<i>Melosira granulata</i>	***	-	-	-	***	*	***	***
	<i>Cyclotella glomerata</i>	***	***	***	***	***	***	-	-
	<i>Cyclotella sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Fragilaria crotonensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Asterionella formosa</i>	**	***	-	-	-	-	-	-
	<i>Synedra acus</i>	***	-	-	-	-	-	***	-
	<i>Synedra sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Cocconeis placentula</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Cocconeis placentula var. leneata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Cymbella ventricosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Nitzschia acicularis</i>	-	***	*	-	-	-	***	-
	<i>Nitzschia sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
渦鞭毛藻綱	<i>Gymnodinium helveticum</i>	**	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Gymnodinium sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Peridinium berlinense</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Peridinium penardiforme</i>	-	*	-	-	-	-	-	-
	<i>Peridinium sp.</i>	*	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Ceratium hirundinella</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
褐色鞭毛藻綱	<i>Cryptomonas erosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Cryptomonas sp.</i>	***	***	***	-	-	-	-	***
	<i>Rhodomonas sp.</i>	-	***	***	*	*	*	-	*
ミドリムシ藻綱	<i>Trachelomonas oblonga</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
緑藻綱	<i>Chlamydomonas sp.</i>	-	-	-	***	***	***	***	-
	<i>Carteria sp.</i>	-	-	***	*	*	*	-	-
	<i>Golenkinia radiata</i>	***	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Micractinium pusillum</i>	*	-	-	*	-	*	**	-
	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Planktosphaeria sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Oocystis sp.</i>	*	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Ankistrodesmus falcatus var. mirabile</i>	*	-	-	**	*	*	*	-
	<i>Pediastrum duplex</i>	*	*	-	-	-	-	-	-
	<i>Pediastrum biwae</i>	***	*	*	-	-	-	-	-
	<i>Coelastrum cambricum</i>	-	-	-	**	*	**	*	-
	<i>Scenedesmus sp.</i>	*	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Mougeotia sp.</i>	-	-	-	**	**	**	***	-
	<i>Closterium aciculare var. subpronum</i>	***	-	-	-	-	-	**	-
	<i>Closterium sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Staurastrum dorsidentiferum var. ornatum</i>	-	***	***	***	***	***	***	-
	<i>Cosmocladium constrictum</i>	*	-	-	-	-	-	-	-

0.5%有意:\*\*\* 1%有意:\*\* 5%有意:\* 有意無し:-

3-3-1 藍藻種と放流量との関係

藍藻は生物群の中では、最も原始的な藻類であり、常に分裂によって増殖する。細胞内に明確な核がないことから藍細菌 (cyanobacteria) とも呼ばれている。藍藻の分布域は非常に広く、富栄養化した湖沼や非常に汚れた河川に発生するものは水質汚濁の指標種になっている。*Anabaena* 属や *Microcystis* 属は異常発生すると表層部に浮き上がりアオコを形成する。

これら藍藻の総細胞容積と放流量の検定結果を表4に示し、図5には流量と藍藻の関係を示した。流量  $100\text{m}^3/\text{sec}$  と少ない時に総細胞容積が増加していることが明らかとなり、この中でも、図6~8に示した *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis wesenbergii*, *Anabaena affinis* などの種が  $100\text{m}^3/\text{sec}$  以下の放流時に明確に増加することが明らかとなった。このことは、*Microcystis* 属や *Anabaena* 属の種は、「偽空胞」と呼ばれるガス胞を各細胞内に有し、表層に浮上しやすくアオコ現象を引き起こしやすいと考えられ、これら藍藻種にとっては放流量が少なく、滞留時間が長いほど好条件となり、特に、水温が高く、放流量が制限される夏季に大発生を起こしやすいことが示唆された。よって、これらの種は、放流量がおよそ  $200\text{m}^3/\text{sec}$  以上に保てれば抑制される可能性があると考えられた。

3-3-2 黄色鞭毛藻種と放流量との関係

黄色鞭毛藻は、単細胞か群体や糸状体を形成し、各細胞に1本あるいは2本の鞭毛を持っており、自由に泳ぎまわる。葉緑体は細胞内に通常1~2個あり、黄色あるいは褐色をしている。各地の湖沼や貯水池に広く分布し、増殖すると生ぐさ臭(魚臭)を発する種が多い。*Uroglena americana* は増殖すると黄褐色の淡水赤潮を形成し、強い生ぐさ臭をつける。

黄色鞭毛藻の総細胞容積と放流量の関係を図9に示したように、放流量が増加すると総細胞容積は減少の傾向

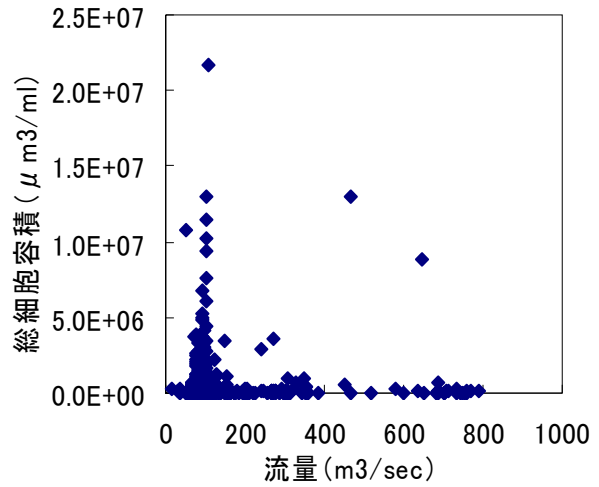


図5 流量と藍藻の関係

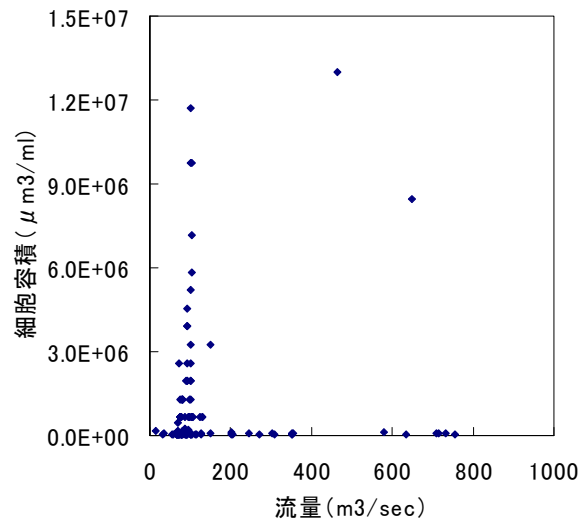


図6 流量と *Microcystis aeruginosa* の関係

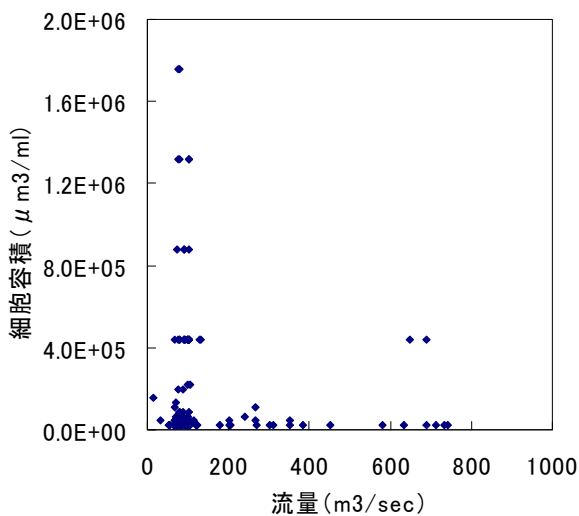


図7 流量と *Microcystis wesenbergii* の関係

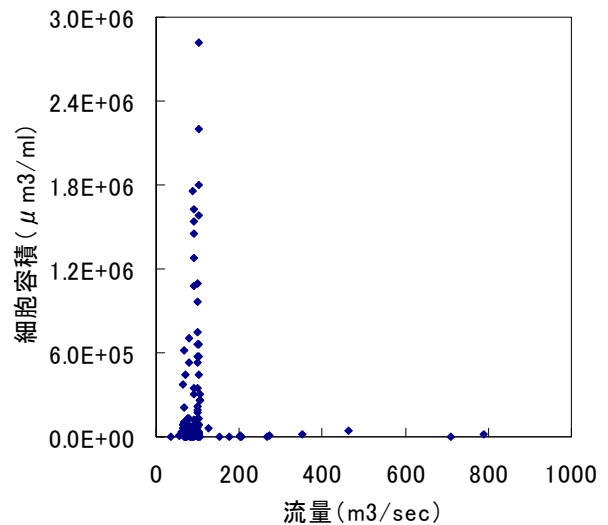


図8 流量と *Anabaena affinis* の関係

が認められ、特に放流量の境界が  $300\text{m}^3/\text{sec}$  と  $400\text{m}^3/\text{sec}$  の場合に平均値の差は有意であることが認められた。これらのことから、およそ  $300\text{m}^3/\text{sec}$  以上の放流を行うことにより黄色鞭毛藻の発生を抑制できる可能性が示唆された。

次に「淡水赤潮」の原因となる *U. americana* の散布図を図 10 に示した。*U. americana* は球形の群体で移動することが多く、計測時には、大きさ別に3つの段階に群体を分類した。小群体は直径  $100\mu\text{m}$  以下の群体を指し、1群体の平均細胞数を約  $60\text{ cells/colony}$  として計数した。次に、中群体は直径  $100\sim 250\mu\text{m}$  の群体を指し、1群体を約  $300\text{ cells/colony}$  で計数した。最後に大群体は直径  $250\mu\text{m}$  以上の群体を指し、1群体を約  $800\text{ cells/colony}$  として計数を行った。琵琶湖の淡水赤潮は透明度や色相などの視覚的によって評価しているが、群体数で評価した場合は、平均  $300$  細胞の中群体（直径  $250\mu\text{m}$ ）が  $1\text{ml}$  中に  $300$  群体以上集積した場合赤潮発生となる。 $300\text{ colony/ml}$  は細胞数では  $90,000\text{ cells/mL}$  以上となり、これに  $1$  細胞の細胞容積  $257\mu\text{m}^3$  を乗ずると約  $2.3\times 10^7\mu\text{m}^3$  となる。瀬田川では、放流により流れが生じ集積現象は認められないが、北湖で発生する淡水赤潮の数十分の1でも瀬田川で計数されると「淡水赤潮」の兆候になるものと考えられた。図 10 は、仮に琵琶湖の  $10$  分の  $1$  ( $1.2\times 10^6\mu\text{m}^3/\text{mL}$ )、 $20$  分の  $1$  ( $2.3\times 10^6\mu\text{m}^3/\text{mL}$ ) の計数結果でも、淡水赤潮の発生が南湖では起こる可能性がある。表 4 の検定結果から放流量の境界が  $300\text{m}^3/\text{sec}$  以下では認められないが  $400\text{m}^3/\text{sec}$  の以上の場合には、平均値の差の検定より有意であることが認められた。このことから *U. americana* の大量発生を抑制するには、放流量をおよそ  $300\text{m}^3/\text{sec}$  以上に操作することが有効であることが示唆された。

### 3-3-3 珪藻種と放流量との関係

珪藻は単細胞の藻類で、珪酸質の殻に包まれているのが特徴である。細胞には、 $1$  個又は多数の色素体がある。浮遊性の種と付着性の種に分けられ、浮遊性の種は湖沼等で春先などに大増殖を起し、浄水処理に影響を与える。凝集や沈殿が難しく、濾過池を詰まらせるグループとして *Melosira* 属、*Synedra* 属などがある。

珪藻における放流量と総細胞容積の関係は図 11 になり、比較的放流量が大きくなると総細胞容積は減少の傾向にある。平均値の差の検定結果では放流量の境界が  $300\text{m}^3/\text{sec}$  で有意であると認められた。しかし、図 12 のように *Nitzschia* sp. は大放流量時でも総細胞容積が小さくはならない傾向にあり、これら珪藻に属する種に関しては放流量への耐性が強い種であると考えられる。中

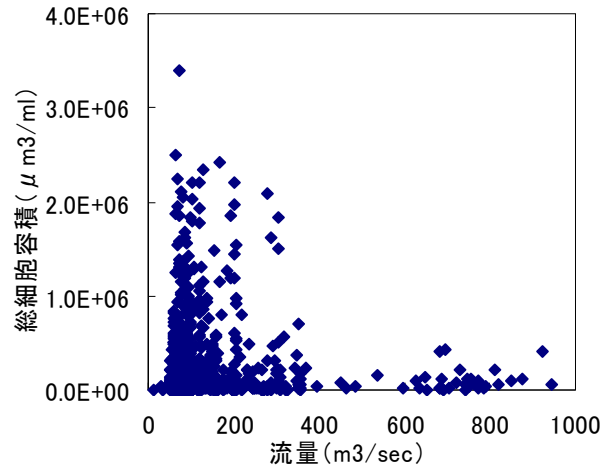


図 9 流量と黄色鞭毛藻の関係

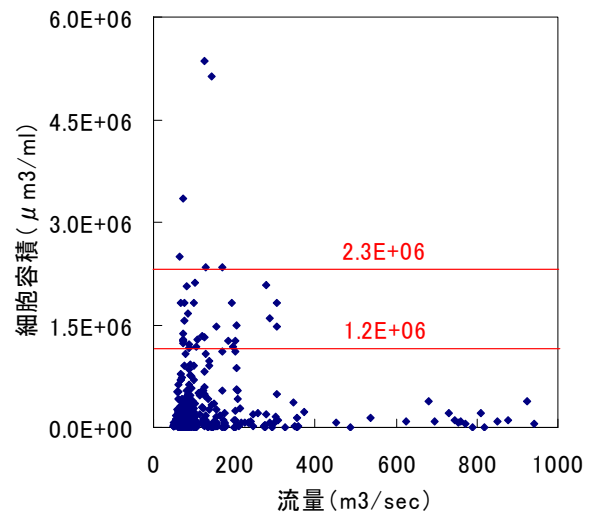


図 10 流量と *Uroglena americana* の関係

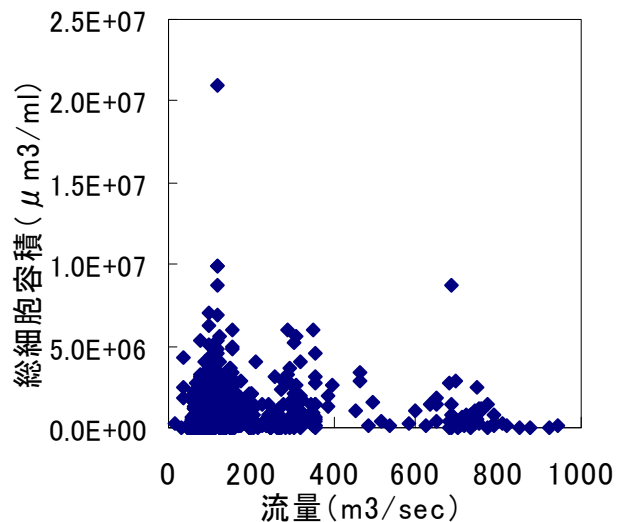


図 11 流量と珪藻の関係

も *Cyclotella glomerata*, *Asterionella formosa*, *Nitzschia acicularis* は放流量の境界が  $300\text{m}^3/\text{sec}$  で有意であると認められた。

### 3-3-4 褐色鞭毛藻種と放流量との関係

褐色鞭毛層の藻体は単細胞で、長楕円形をしており、細胞前端の少し凹んだところにある不等長の2本の鞭毛で遊泳する。その色は、黄色、褐色、赤色等様々である。湖沼や貯水池では *Cryptomonas* 属が大量発生すると、原水に魚臭をつけることがある。

褐色鞭毛藻における放流量と総細胞容積の関係について図13に示した。この種も放流量が増大すると総細胞容積はやや減少の傾向にある。平均値の差の検定を行った結果、放流量の境界が  $300\text{m}^3/\text{sec}$  以下の場合に平均値の差が有意であることが認められた。しかし、図13に示したように、放流量が多い場合でも大発生することが少ないため、褐色鞭毛藻は放流量に影響されることなく、琵琶湖に広く分布していることが示唆された。

### 3-3-5 緑藻種と放流量との関係

緑藻は淡水中で最も多くの種類が認められ、その形態も単純なものから複雑なものまで様々である。また、葉緑体の形や位置、数等によって属・種が異なり、分類上の重要な特徴となる。浄水場等の施設では、水源地のプランクトンとして、また、沈殿池や緩速濾過池の池壁などに普通に見られ、緩速濾過池の濾過膜の生物として主要な位置を占めている。そして、著しく増殖すると水に臭気をつける種や、濾過池を閉塞させるような種もある。

緑藻における放流量と総細胞容積の関係を図14に示した。緑藻は他の綱と同様に放流量が増加すると総細胞容積は減少の傾向にある。

主に緑藻の中でも滞留時間が長い時期に増加する種は図15に示した *Pediastrum biviae* であり、また、放流量の増加とともに発生量が減少していく種としては図16に示した *Staurastrum dorsidentiferum* var. *ornatum*, であった。最後に、総細胞容積と放流量の関係については、年によって様々であるが、その一例(1988年)を図17に示した。大幅な放流を行なっている時期が6月上旬、7月中旬、8月下旬の3回あり、いずれの時期も、放流量  $700\text{m}^3/\text{sec}$  前後を放流した後、植物プランクトンの総細胞容積は減少傾向を示している。これは、大きな放流量操作により植物プランクトン量が減少していること示していると考えられた。しかし、多くの年では、このような明確な減少は認められなかった。このことは、大放流の後、琵琶湖北湖から南湖に流入してくる植物プランクトン量に大きく左右されるためと推察された。

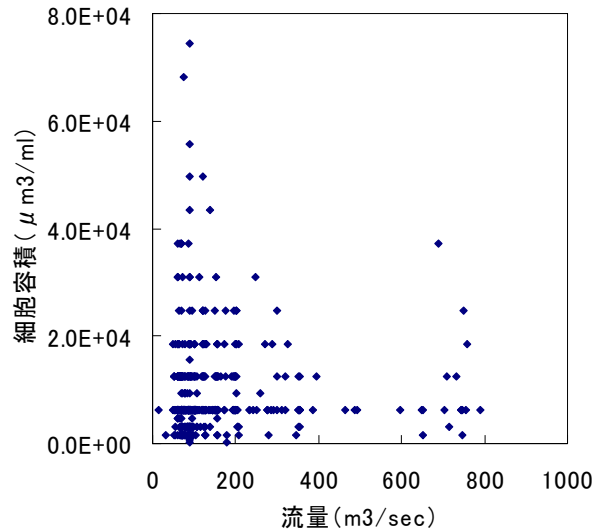


図12 流量と *Nitzschia* sp の関係

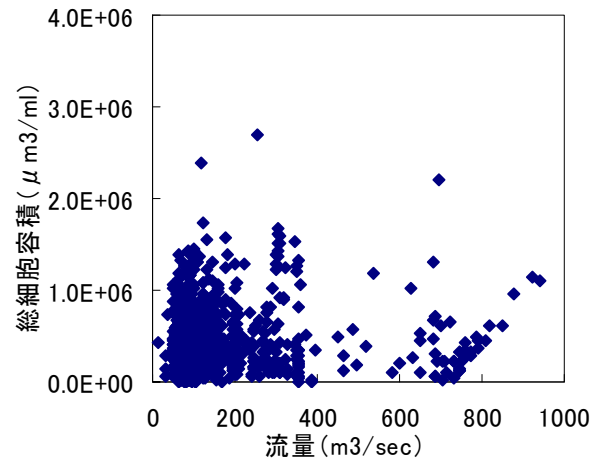


図13 流量と褐色鞭毛藻の関係

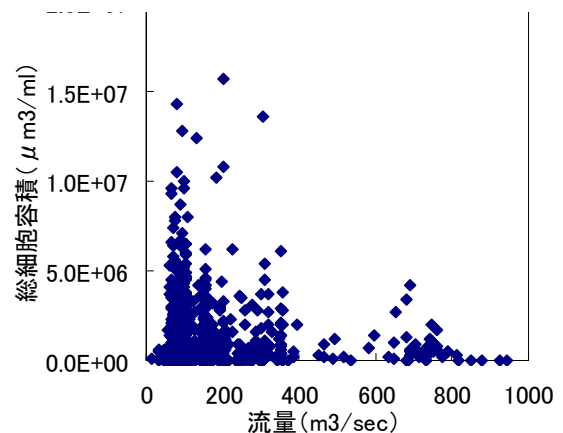


図14 流量と緑藻の関係

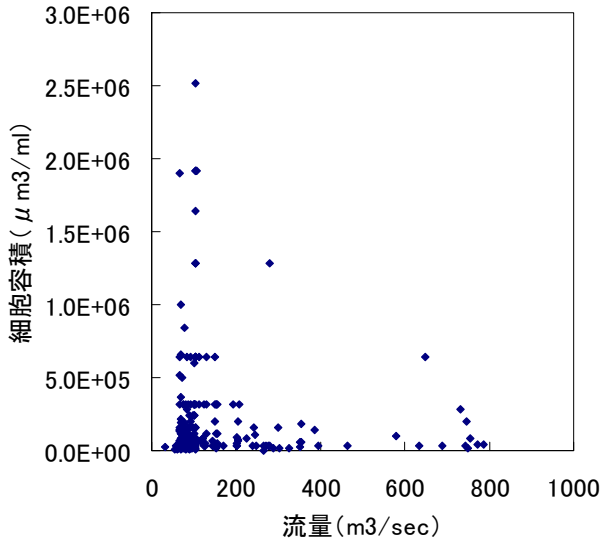


図 15 流量と *Pediastrum biwae* の関係

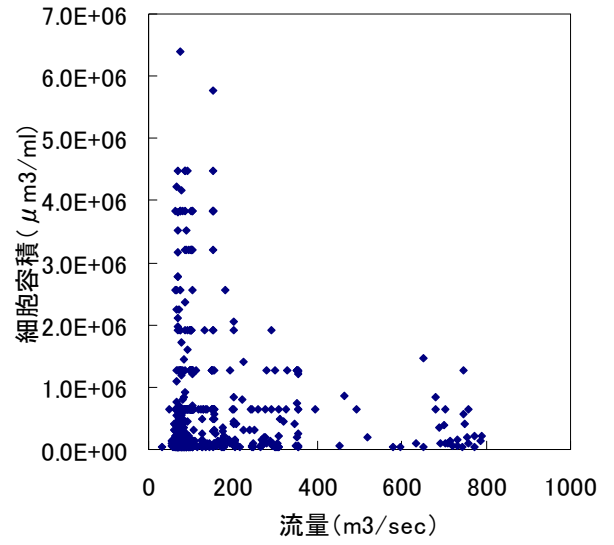


図 16 流量と *Staurastrum dor.vornatum* の関係

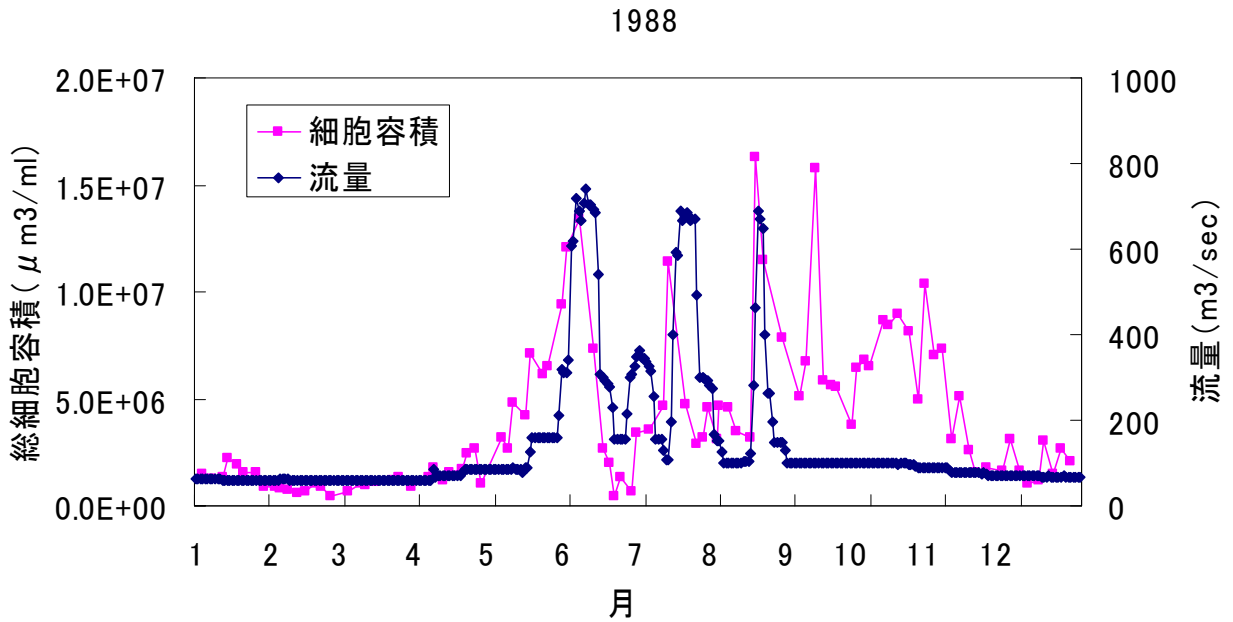


図 17 総細胞容積と流量の経年変化(1988年)



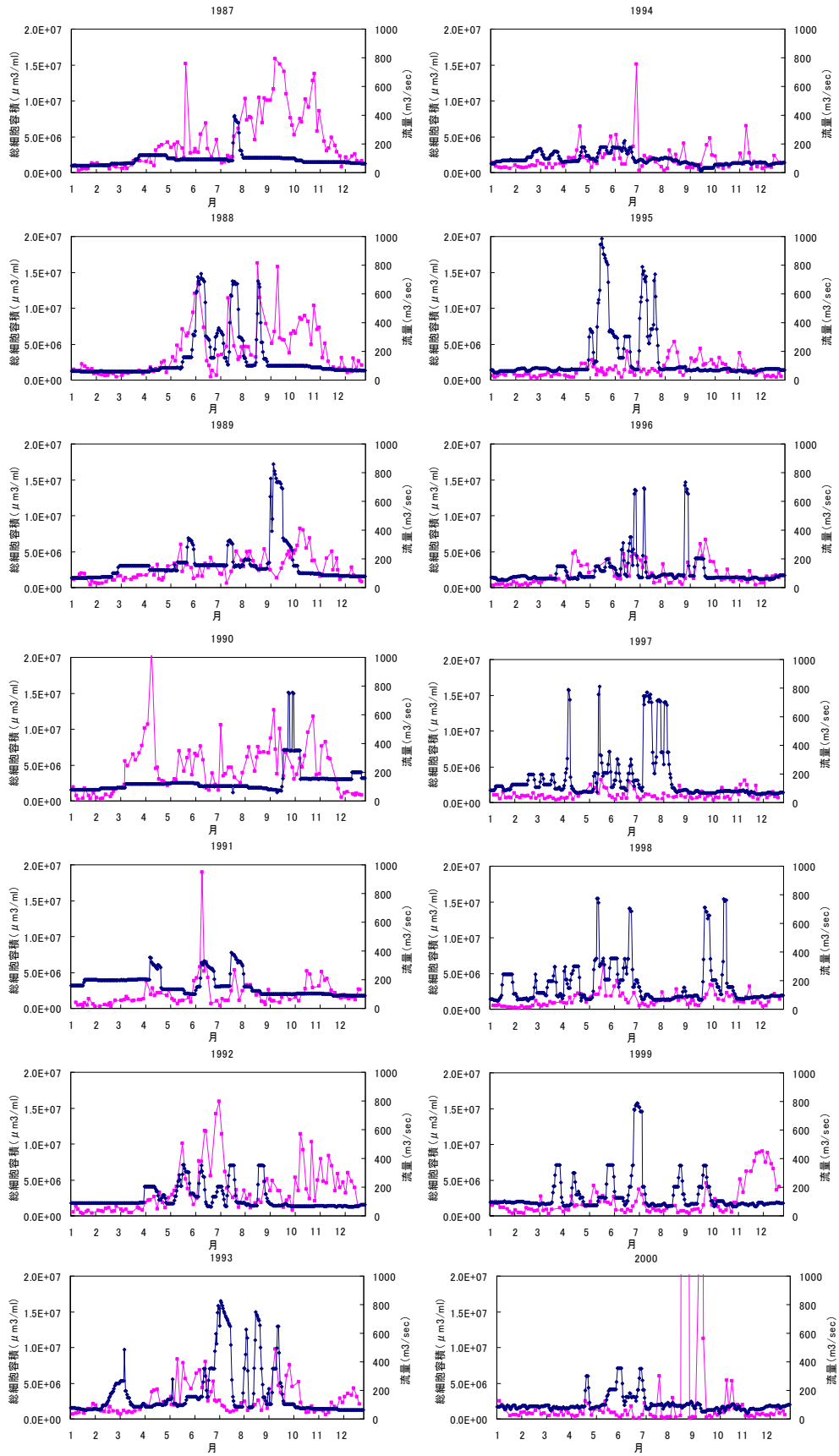


図 18 流量と植物プランクトン量の経年変化(1987-2000)

## 4. 考察

## 4-1 科学的視点からの考察

植物プランクトン量と放流量との関係で得られた知見について以下に述べる。

4-1-1 放流量が増加すると、南湖水の滞留日数が短くなりなり、止水域を好む植物プランクトンの生息条件としては厳しいものとなり、計数される植物プランクトン量は減少する傾向が明らかとなった。このことに関して、平均値の差の T 検定により有意性の検討を行った結果、主要種 64 種のうち、19 種に関して有意 (0.5%) な判定結果が得られ、放流によって影響を受けやすい種と、影響を受けにくい種が明らかとなった。

4-1-2 放流量が少なくなると水の滞留日数は長くなり、植物プランクトンは増加しやすい環境となる。特に表層部に集積しやすい藍藻にとっては放流量が  $100 \text{ m}^3/\text{sec}$  以下になると大発生を起しやすいい好条件となる。これは放流量が少なくなる条件、つまり渇水時等には大増殖を起す可能性が高いと考えられた。

## 4-2 政策的視点からの提言に向けて

今後の課題として、放流量操作については、治水面で洪水といった災害を起こさない程度に放流量を調整することから、治水と内部生産の両者のバランスを考えながら放流量操作を検討していく必要があると考えられた。さらに、放流量操作によってアオコや淡水赤潮の発生抑制効果についても、さらに検証をする必要がある。

今回の結果から、表層に浮上しアオコを形成するような藍藻種については、放流量がおおよそ  $100 \text{ m}^3/\text{sec}$  以下になると大量発生を起しやすいい条件となり、夏季の渇水時には、アオコ現象が発生しやすいことが明らかとなった。

今後、植物プランクトンの異常発生を抑制するためには、南湖水の滞留日数を増加させないような対応が望まれる。

## 謝辞

本研究を遂行するに当たり、国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所発表の流量データを使用させて頂いたこと、また、学外実習の一環として、立命館大学理工学部環境システム工学科の村澤晃研究生には、2000年以前の植物プランクトンのデータ整理や解析を担当して頂いたことに、この場をお借りして心より感謝を致します。

## 引用文献

- 一瀬諭、森田尚、市木繁和、若林徹哉、三田村徳子、園正、内藤幹滋、前川昭、安福義雄、中村敏博、水嶋清嗣、田中靖志、野村潔：(1987)琵琶湖における「水の華」モニタリング調査。滋賀県立衛生環境センター所報, 22, 103-128
- 八木正一：(1995)琵琶湖のかび臭-発生の経過と変遷。日本水処理生物学会誌, 31, 63-73
- 滋賀県琵琶湖環境科学研究センターHP (2013), 瀬田川プランクトン速報 (プランクトン観測室) [http://www.lberi.jp/root/jp/24pl/bkjhplankton\\_setagawa.htm](http://www.lberi.jp/root/jp/24pl/bkjhplankton_setagawa.htm)
- 国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所 HP (2013) <http://www.biwakokasen.go.jp/index.html>
- 一瀬諭・若林徹哉・松岡泰倫・山中直・藤原直樹・田中勝美：(1995), 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
- 一瀬諭、若林徹哉、水嶋清嗣、藤原直樹、野村潔：(1999). 琵琶湖における水の華発生状況について - *Oscillatoria kawamurae* の増殖。滋賀県立衛生環境センター所報, 34, 84-90