

八郎潟調整池におけるアオコ形成藻類の細胞数の増加及びアオコ形成の原因推定

珍田 尚俊 ・ 佐藤 信也

要 旨

八郎潟調整池全域でのアオコの形成状態及びアオコ形成藻類の発生状況を詳細に把握し、気象等の環境因子と比較することで、アオコ形成藻類の細胞数の増加及びアオコ形成の原因を推定した。

平成 15 年に八郎潟調整池で発生したアオコ形成藻類の優占種はアナベナ属で、ミクロキスティス属はほとんど発生しなかった。湖水中のアナベナ属の細胞数が概ね 5000 cells/0.1mL 以上からアオコが観察された。八郎潟調整池全域でのアナベナ属の細胞数が多かったのは、8 月 19 日及び 8 月 21 日であり、他の調査日と比べて気温の上昇、日射量の増加、滞留時間の長期化によりアナベナ属が増殖し、無風により浮遊性のあるアナベナ属が下層から表層へ浮上・集積したためであると考えられた。8 月 19 日及び 8 月 21 日の一部の水域でアオコが形成されたのは、その時期の表層中のアオコ形成藻類の細胞数が多かったのに加えて、調査日前に吹いていた風の影響により波及び水流が発生したことで、風下側の水域へ集積したためであると考えられた。

1. はじめに

富栄養化した湖沼では、しばしば浮遊性の藻類が増殖して水面に集積し、緑色に著しく着色する現象がみられる。一般にこの現象、またはその状態をつくりだしている藻類群のことを「アオコ」という¹⁾。秋田県の日本海側に位置する八郎潟調整池（図 1）もアオコがみられる湖沼の一つであり、藍藻類であるアナベナ属（*Anabaena* spp.）やミクロキスティス属（*Microcystis* spp.）の増殖によってアオコが形成されることが当センターの調査²⁴⁾により確認されている。平成 11, 12 年にはアオコの形成量が例年よりも多く、特に平成 11 年 8 月には景観が悪化するだけでなく、水道水の異臭味や水産物の価値低下等の問題が発生した³⁾。このアオコの問題に対処するために、アオコ形成の原因を解明する必要があることから、当センターでは、平成 13, 14 年に八郎潟調整池におけるアオコの形成状態と湖水の水質変化・気象条件との関連を究明する調査を実施した⁴⁾。しかし、目視による観察だけでアオコの形成状態を定量的に把握することや、調査地点が少なかったことでアオコの移動による位置変化を詳細に把握することが困難であったこと等から、アオコ形成の原因を推定するまでには至らなかった。また、アオコ形成藻類の栄養源及び増殖因子である T-N（全窒素）及び T-P（全リン）⁶⁻⁸⁾の湖水濃度が、アオコの発生前後と比較してほとんど変化しなかった⁹⁾。このことから、

アオコが夏等の暖かい時期にだけ形成される原因を推定するためには、湖水に豊富に存在する窒素及びリンの濃度^{9,10)}変化よりも、温度等の環境因子の変化に注目する必要があると考えた。

そこで本調査研究では、アオコ形成機構の解明に関する調査研究の一環として、平成 15 年度の八郎潟調整池全域でのアオコの形成状態及びアオコ形成藻類の発生状況を面的に把握し、気象等の環境因子の特徴と比較することで、アオコ形成藻類の細胞数の増加及びアオコ形成の原因を推定することとした。ここでは、その調査結果について報告する。

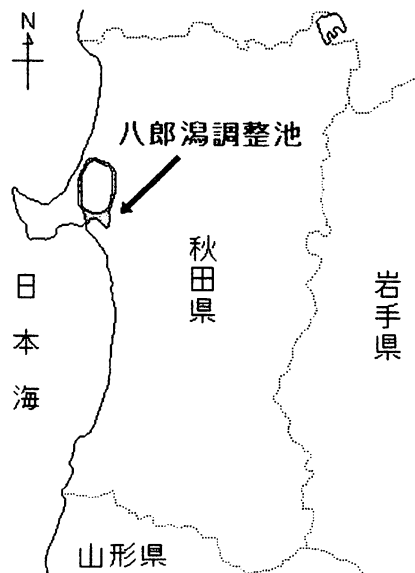


図1 八郎潟調整池の位置図

2. 調査方法

2.1 調査時期及び地点

平成 15 年 7 月 2 日～10 月 1 日（7 月 2 日，14 日，18 日，24 日，28 日，31 日，8 月 7 日，12 日，19 日，21 日，26 日，9 月 1 日，5 日，12 日，18 日，10 月 1 日）の計 16 回，図 2 に示した八郎潟調整池の A～N 地点の 14 箇所を実施した。

2.2 アオコの形成状態

船上から湖面を観察し，アオコまたは浮遊している目視で観察可能なサイズまで成長したアオコ形成藻類の細胞の固まり（以後，「個体群」と称す）の発生の度合を表 1 の「目視レベル」により，5 段階に評価した。この調査では表 1 により，アオコの形成の有無及び形成状態を判断することとし，浮遊性の

藻類が湖面に集積して緑色に着色する現象が観察される「目視レベル 2」以上から，アオコが形成されたと判断することとした。

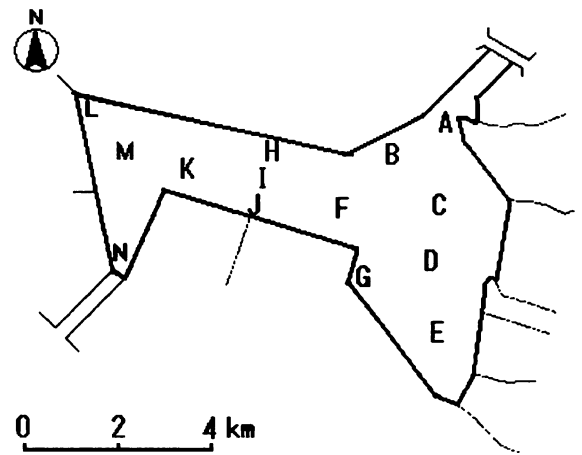


図2 八郎潟調整池の調査地点

表1 「目視レベル」の評価基準

目視レベル	アオコまたはアオコ形成藻類の個体群の観察状況
0	アオコ形成藻類の個体群がほとんど認められない。
1	アオコ形成藻類の個体群の存在がはっきり認められて点在しており，船での移動中には確認できなくなる。アオコの形成は確認できない。
2	アオコ形成藻類の個体群が斑点状または筋状となって水面に浮上し，船での移動中にも確認できる。小規模のアオコとして所々に形成されているのが確認できる。
3	アオコが筋状または膜状となって形成されており，水面の概ね 1/2 未満を覆っている。
4	アオコが膜状またはマット状となって形成されており，水面の概ね 1/2 以上を覆っている。

2.3 アオコ形成藻類の細胞数

船上から表層水を採水して実験室に持ち帰り，生物顕微鏡（オリンパス社製 BHS 型）を用いて，アオコ形成藻類であるアナベナ属及びミクロキスティス属の細胞数の計数を行った。

細胞数の計数方法は，次のとおりである。サンプル 0.1 mL を枠付スライドガラスに落とし，顕微鏡の倍率を 100 倍または 200 倍にして，原則として 0.1 mL 中の全てのアオコ形成藻類の細胞数をカウントした。細胞数が特に多い場合には，サンプル量を 0.02～0.05 mL に減じて上記と同様に細胞数をカウントし，その結果を 0.1 mL 当たりの量に換算した。また，下層のアオコ形成藻類の細胞数を把握するため，7 月 18 日～10 月 1 日の計 14 回，D 及び I 地点の 2 地点の下層（1 m，2 m 層）の採水及びアオコ形成藻類の種類毎の細胞数の計数を上記と同様の方法で実施

した。

2.4 現場での風向及び風浪階級

平成 15 年 7 月 2 日～10 月 1 日の現地調査時に，現場での風向を記録し，気象庁風浪階級表¹¹⁾の観測方法に従って湖水の波の大きさを観測した。

2.5 気象データ及び防潮水門放水量

気象条件について，気温，風向，風速は気象庁の五城目観測所，日射量は秋田地方気象台のデータ¹²⁾を用いた。収集したデータの期間は平成 15 年 7 月 2 日～10 月 1 日の 3 ヶ月間とした。

湖水の外部への流出量を把握するために，八郎潟基幹施設管理事務所から入手した平成 15 年 7 月 2 日～10 月 1 日の 3 ヶ月分の防潮水門放水量のデータを使用した。

3. 結果及び考察

3.1 アオコの形成状態及びアオコ形成藻類の発生状況

調査期間中、アオコの発生が確認された調査日及び地点は、目視レベル 2 を観測した 8 月 19 日の B 地点（調整池東部北西側）、G 地点（天王東排水機場前）、J 地点（湖心南側）、K 地点（湖心南西側）の 4 地点、及び 8 月 21 日の J 地点（湖心南側）、K 地点（湖心南西側）の 2 地点であった（図 3 及び図 4）。この湖面に発生したアオコのサンプルを顕微鏡観察した結果、アナヘナ属の個体群が多数集積した状態として観察され、この個体群一つ当たりの細胞数は約 200 cells 以上であった。また、アオコが観察された地点でのアナヘナ属の細胞数は 4700 ~ 24000 cells/0.1mL の範囲であり、アオコが観察されなかったときの細胞数は 0 ~ 4800 cells/0.1mL の範囲であったことから、概ね 5000 cells/0.1mL 以上となるとアナヘナ属によるアオコの形成が観察されると考えられる。一方、調査期間中、ミクロキスティス属によるアオコは観察されなかった。

八郎潟調整池 14 地点におけるアオコ形成藻類の各調査日の平均細胞数を図 5 に示した。アナヘナ属の細胞数はアオコの発生が確認された 8 月 19 日、8 月 21 日に特に多かった。また、調査期間内に 7 月 24 日、8 月 19 日、9 月 12 日の 3 回の発生ピークがみられた。最もアナヘナ属の細胞数の多かった 8 月 19 日には、八郎潟調整池内 14 地点における平均細胞数が 6173 cells/0.1mL で、最大が J 地点の 24000 cells/0.1mL であった。また、8 月 21 日の平均細胞数は 2464 cells/0.1mL で、最大は J 地点の 16000 cells/0.1mL であった。7 月 24 日及び 9 月 12 日のアナヘナ属の平均細胞数は、それぞれ 631 cells/0.1mL 及び 470 cells/0.1mL で、最大でもそれぞれ 1300 cells/0.1mL 及び 2000 cells/0.1mL であり、8 月 19 日と比較しても平均及び最大ともに 1/10 以下であった。

ミクロキスティス属については、最も細胞数の多かった調査日は 8 月 21 日で、八郎潟調整池内 14 地点における平均細胞数は 149 cells/0.1mL で、最大は E 地点の 650 cells/0.1mL であった。別の調査日での平均細胞数は、0 ~ 20 cells/0.1mL の範囲であった。このように、八郎潟調整池で発生したアオコ形成藻類の優占種はアナヘナ属で、ミクロキスティス属はアナヘナ属と比較してほとんど発生しなかった。

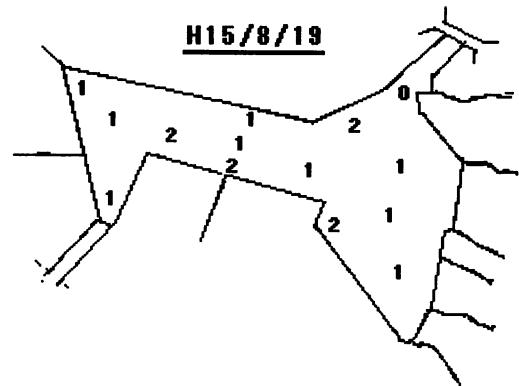


図3 8月19日の目視レベル観察結果

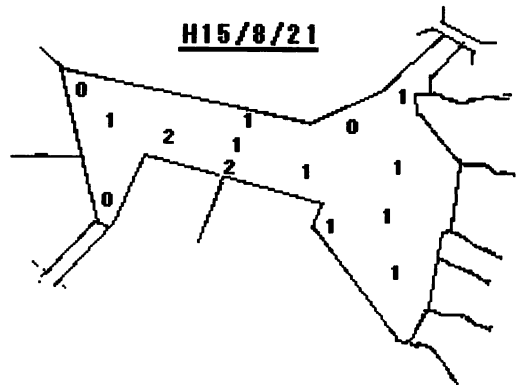


図4 8月21日の目視レベル観察結果

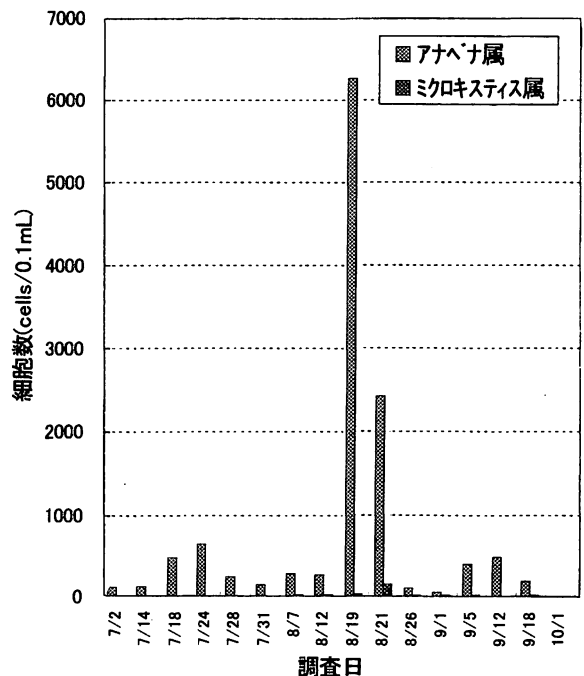


図5 八郎潟調整池 14 地点におけるアオコ形成藻類の細胞数の平均値

3.3 アナベナ属の細胞数の増加要因の推定

3.3.1 日射量・放水量・気温の影響

アナベナ属の細胞数と日射量・防潮水門放水量の変化を図6に示した。日射量が多く（日間平均 15 MJ/m^2 以上）放水量が少ない（日間平均 $2.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 以下）期間に、アナベナ属の細胞数が増える傾向がみられた。

アナベナ属の細胞数と気温の変化を図7に示した。日射量が多く放水量が少ない期間の中で、7月18日、7月24日、7月28日の日平均気温が $20 \sim 21^\circ\text{C}$ であったのに対し、8月19日及び8月21日の日平均気温が 22°C 前後で、前者より $1 \sim 2^\circ\text{C}$ 高かった。アナベナ属の増殖速度は $20 \sim 25^\circ\text{C}$ の間では温度が高いほど早くなる¹³⁾ことから、8月19日及び8月21日のアナベナ属の細胞数が多かったのは、日射量が多く放水量が少なかったことに加えて、気温が高かったことが原因の一つであると推察される。

3.3.2 風及び波の影響

アナベナ属の細胞数と風・波の変化を図8に示した。アナベナ属の細胞数が多かった8月19日、8月21日には、風及び波の無い状態であった。7月24日、7月28日、7月31日、8月26日、9月5日、9月12日の調査時には、風下側の水域にアナベナ属の細胞数が増える傾向がみられた。また、8月19日の場合、8月15日～8月19日調査時直前まで弱い北東の風が吹いており、その風下側の地点でアナベナ属の細胞数が増える傾向があった。これは、八郎潟調整池に生じる水流の主な原因が風によるものであると考えられている¹⁴⁾ことから、表層中のアナベナ属が風によって発生した波（風浪）及び水流によって移動することで、風下側の水域に集積したと考えられる。

表層（0 m 層）と下層（1 m 及び 2 m 層）のアナベナ属の細胞数の違いを、各層のアナベナ属の細胞数の割合として図9に示した。8月19日及び8月21日には、表層中のアナベナ属の細胞数の割合が約80%前後と特に高かった。これは、無風状態により浮遊性のあるアナベナ属が下層から表層へ浮上したためであると考えられる。一方、7月28日、8月7日、9月1日、10月1日の風及び波が強かったときには、表層のアナベナ属の細胞数の割合が30～40%と低かった。日射量が多く放水量が少なかった7月28日の表層のアナベナ属の細胞数が少なかったのは、風

及び波が強いことでアナベナ属が下層まで分散していたためであると考えられる。

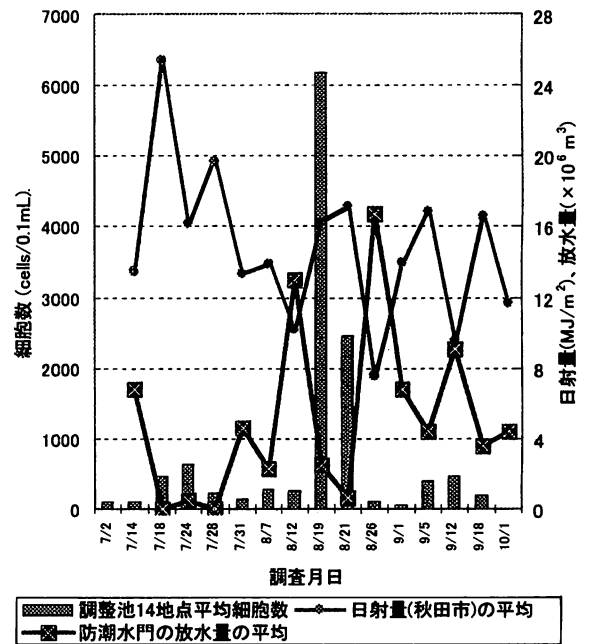


図6 アナベナ属の細胞数と日射量・放水量の変化

注) アナベナ属と気象等の条件を比較するとき、調査日だけでなくその日以前の気象等の条件がアナベナ属の増殖に関与すると考えられるため、図6及び図7で表示している日射量、放水量及び気温は、前調査日の翌日から該当調査日までの日平均値を使用。

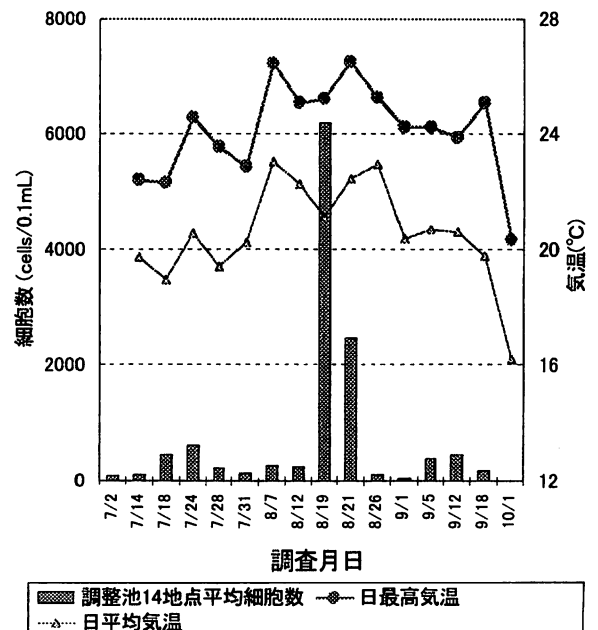


図7 アナベナ属の細胞数と気温の変化

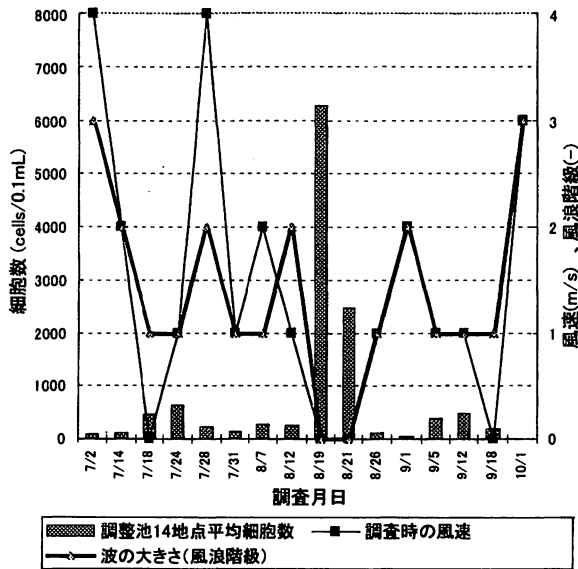


図8 アナベナ属の細胞数と風・波の変化

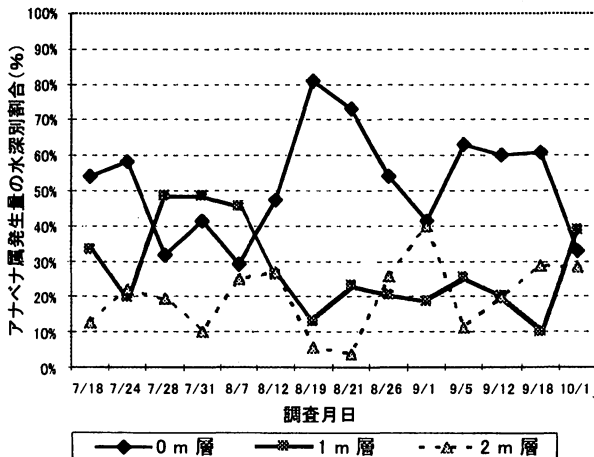


図9 各層のアナベナ属の細胞数の割合(D及びI地点の平均)

注) 0, 1, 2 m 層の各細胞数の合計値を 100 % としたとき
の各層毎の細胞数の割合を各地点毎に算出し、各層の 2
地点の割合の平均値をグラフに表示

3.4 アオコ形成の原因の推定

8月19日及び8月21日に八郎潟調整池の一部の水域でアオコが形成されたのは、以下のことから、表層中のアナベナ属の細胞数が約 5000 cells/0.1mL 以上にまで増加したためであると考えられる。

(1) アナベナ属の増殖因子である光(日射量)の増加及び温度(気温)の上昇に加え、湖水の放水量が低下したことで滞留時間が長期化し、アナベナ属が増殖した。

(2) 風の影響により波及び水流が発生し、アナベナ属が吹き寄せられることで風下側の水域へ集積した。

(3) 風下側へ集積後、無風状態となったことにより、浮遊性のあるアナベナ属が下層から表層へ浮上及び集積したことから、表層中のアナベナ属の細胞数がさらに増加した。

参考文献

- 1) 渡辺真利代, 原田健一, 藤木博太: アオコ - その出現と毒素 -, pp. 1-3, 東京大学出版会, 2002.
- 2) 塚田善也 他: 八郎湖調整池のプランクトン相について, 秋田県環境技術センター年報, **13**, 84-100, 1985.
- 3) 吉田昇, 加藤潤, 渡辺寿: 八郎湖のアオコ毒素等水質動態調査(平成 10 ~ 12 年度環境省委託調査), 秋田県環境センター年報, **28**, 73-78, 2000.
- 4) 藤田賢一, 佐藤信也, 珍田尚俊: 八郎湖調整池におけるアオコ発生機構解明調査(中間報告), 秋田県環境技術センター年報, **29**, 42-48, 2001.
- 5) 秋田魁新報, 平成 11 年 8 月 22 日朝刊
- 6) W. M. ダーリー: 藻類の生理生態学, pp. 29-56, 培風館, 1987.
- 7) 秋山優 他: 藻類の生態, pp. 155-169, 内田老鶴園, 1986.
- 8) 佐藤泉明: 新・清流青湖への道, p. 2-36, 千曲秀版社, 1989.
- 9) 片野登 他: 八郎湖の富栄養化に関する一考察, 秋田県環境技術センター年報, **17**, 81-103, 1989.
- 10) 秋田県生活環境文化部編: 平成 14 年度版 環境白書, p. 240, 2002.
- 11) 気象庁: 海洋観測指針(気象庁編), p. 309, 日本気象協会, 1990.
- 12) 気象庁ホームページ(過去の測定データ): http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jma/index.html
- 13) 南篠吉之 他: アオコ(*Anabaena affinis*)の増殖特性 - 水温、塩素イオン濃度との関係について, 鳥取県衛生研究所報, **34**, 59-62, 1994.
- 14) 秋田県生活環境部編: 八郎湖水質汚濁機構解明調査総合報告書, pp. 14-17, 1985.

別表 平成15年度八郎潟調整池14地点におけるアオコ形成藻類の細胞数及び目視レベルの観測結果

(細胞数の単位: cells/0.1mL)

地点名 \ 調査月日	7/2	7/14	7/18	7/24	7/28	7/31	8/7	8/12	8/19	8/21	8/26	9/1	9/5	9/12	9/18	10/1
表層のアナバネ属の細胞数																
A 馬場目川河口付近	-	230	300	280	150	0	63	150	55	2200	57	0	180	0	0	0
B 調整池東部北西側	120	45	810	440	110	74	120	140	17000	370	0	58	740	0	40	0
C 調整池東部北側	28	100	93	530	240	180	95	320	770	2700	100	90	320	170	62	15
D 調整池東部	520	220	220	980	250	210	320	770	4800	2200	200	200	300	110	130	21
E 調整池東部南側	150	0	1100	1300	160	500	-	130	3200	1800	130	12	270	2000	500	0
F 湖心東側	130	99	590	790	130	240	71	140	4300	700	52	0	18	760	21	0
G 天王東排水機場前	-	120	1300	110	270	140	380	360	9900	620	0	58	12	1200	5	0
H 湖心北側	0	0	340	400	270	42	570	420	270	540	15	45	100	470	50	0
I 湖心	130	230	490	690	120	110	260	440	2200	1200	94	15	250	140	57	22
J 湖心南側	0	66	240	1200	70	190	1300	270	24000	18000	580	0	160	720	120	0
K 湖心西側	42	170	310	120	260	11	27	88	18000	4700	49	93	2900	250	10	0
L 南部排水機場前	-	160	0	950	270	87	150	100	620	940	0	0	200	140	1500	0
M 調整池西部	0	43	330	820	400	85	130	60	1800	300	43	0	24	510	10	0
N 防潮水門前	0	0	280	220	480	68	40	250	1700	230	140	110	0	110	38	5
1 m 及び 2 m 層のアナバネ属の細胞数																
D 調整池東部(1m層)	-	-	170	220	370	240	260	460	450	250	76	16	110	0	0	30
D 調整池東部(2m層)	-	-	120	80	180	94	310	340	210	130	24	52	76	50	0	67
I 湖心(1m層)	-	-	250	390	190	130	720	220	540	720	35	58	110	110	53	24
I 湖心(2m層)	-	-	12	650	62	7	180	310	220	46	99	110	27	22	150	0
表層のミクロキスティス属の細胞数																
A 馬場目川河口付近	-	0	0	0	0	0	0	0	0	110	0	0	0	0	0	0
B 調整池東部北西側	0	0	0	0	0	0	0	0	180	0	0	42	84	0	0	0
C 調整池東部北側	0	0	0	0	0	0	0	0	0	380	0	0	0	0	170	0
D 調整池東部	0	0	0	0	0	0	60	0	90	0	0	0	0	0	0	0
E 調整池東部南側	0	0	0	0	0	0	-	0	0	650	0	0	0	0	0	0
F 湖心東側	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	0	0
G 天王東排水機場前	-	14	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0
H 湖心北側	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0
I 湖心	0	0	0	0	0	0	90	0	0	310	0	0	0	0	0	0
J 湖心南側	0	0	0	0	0	0	0	0	0	410	0	0	0	0	0	0
K 湖心西側	0	0	0	0	0	0	0	90	0	0	18	0	140	0	0	0
L 南部排水機場前	-	0	0	31	0	0	0	0	0	12	55	0	0	0	0	0
M 調整池西部	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N 防潮水門前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	0	62	0	0	0	0
1 m 及び 2 m 層のミクロキスティス属の細胞数																
D 調整池東部(1m層)	-	-	0	0	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0
D 調整池東部(2m層)	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	0
I 湖心(1m層)	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I 湖心(2m層)	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
目視レベル																
A 馬場目川河口付近	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
B 調整池東部北西側	0	0	1	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0
C 調整池東部北側	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
D 調整池東部	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
E 調整池東部南側	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
F 湖心東側	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
G 天王東排水機場前	-	1	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
H 湖心北側	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
I 湖心	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
J 湖心南側	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0
K 湖心西側	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	1	0	0	0
L 南部排水機場前	-	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
M 調整池西部	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
N 防潮水門前	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

注1): 目視レベル2の場合、の枠にして他のサンプルと区別した

注2): 細胞数の測定及び目視レベルの評価を実施していない調査地点及び調査月日には、測定結果欄に「-」と記載した