

# 猿沢池のアオコの発生を考える

5年A組 狩田帆乃夏

5年C組 赤木 美穂

指導教員 矢野 幸洋

## 1. 要約

猿沢池(奈良市)のアオコの発生について水質調査および環境データの測定、プランクトンの観察を行った。その結果、猿沢池では藍藻類が恒常的に多く、5月～6月にかけて発生したアオコは藍藻類の増加によるものと確認できた。

キーワード プランクトン、アオコ、COD、藍藻類(シアノバクテリア)、クロロフィル

## 2. 研究の背景と目的

猿沢池には古くからの言い伝えである「澄まず、濁らず、出ず、入らず、蛙はわかず、藻は生えず、魚が七分に水三分」という七不思議があり、それを科学的に解明しようと、池の水質を調べることにした。調査を進める中で、春～夏にアオコが発生することがあり、それについて詳しく調べることにした。植物プランクトンの量を数値化するために、クロロフィルの抽出実験を行い、クロロフィル量を求めることにした。また、猿沢池で確認したプランクトンを整理するために、図鑑を作成することにした。

## 3. 仮説

アオコは春から夏にかけての気温、水温の上昇に伴って発生すると考えられる。また、アオコを引き起こす原因となる藍藻類が猿沢池には恒常的に多く、それらが急速に増えることによって引き起こされるのではないかと考えられる。

## 4. 研究内容

実験方法

(1) 環境データの収集とプランクトンの採集・観察

### ①水の採集

プランクトンネットを使用し、あらかじめ決めた場所で採水ビン1本分の水を採集した。

### ②環境データの測定

採集した直後に、気温、水温、pH、COD、DO、濁度の値を調べ、記録した。なお、気温、水温、pHの測定はデジタルpH計を、CODはパックテストを、濁度は濁度計を用いて、計測した。

### ③遠心分離

持ち帰った水を、30ml遠心分離管に入れ、遠心分離した。遠心分離管の底に沈殿したプランクトンをピペットで吸い上げ、スライドガラスに1滴ドロップし、プレパラートを作成した。

#### ④観察

作成したプレパラートを顕微鏡で観察した。植物プランクトンにおいては、個体数が少ないものはカウントし、多いものはどの種が特に多かったのかを記録した。また、動物プランクトンにおいては、形の残っているもののみカウントし、すべての種について数を数えた。

#### (2) クロロフィル抽出実験

採水に行った日に同時にクロロフィルの抽出実験を行った。

##### ①プランクトンのろ過

I-(1)と同じ方法で採集した 200ml の水を、ろ過装置でろ過をする。

##### ②90%のアセトンの作製

アセトン 54ml、蒸留水 6ml を混ぜ、濃度 90%のアセトンを 60ml 作製する。

##### ③クロロフィルの抽出

ビーカーに 90%アセトンを入れ、そこに、①のろ紙を下向きになるように入れ、超音波洗浄機で 30℃で 30 秒間洗浄する。

##### ④吸光度の測定

2本のセルに、③の上澄み液と 90%アセトンを 2/3 ほどずつ入れ、分光光度計で、それぞれ 750nm、663nm、645nm、630nm で吸光度を測定する。

##### ⑤クロロフィル値の計算

上澄み液の測定値からアセトンの測定値を引き(引いたものをそれぞれの波長の測定値とする)、以下の式に数をあてはめて、クロロフィル a、クロロフィル b、クロロフィル c の値を計算する。※参考文献(1)より

Chl.a	$(11.64A-2.16B+0.1C)a \div VL$
Chl.b	$(20.97B-3.94A-3.66C)a \div VL$
Chl.c	$(54.22C-14.81B-5.53A)a \div VL$

- A=663nm の測定値-750nm の測定値
- V=ろ過量=0.2(L)
- B=645nm の測定値-750nm の測定値
- L=セルの長さ=5(cm)
- C=630nm の測定値-750nm の測定値
- a=溶液の量=50(ml)

### 3. 実験結果

(1) また水質調査および環境データの結果を表 1 に示す。猿沢池で見られたプランクトンを表 2 にまとめた。

	天気	気温	水温	pH	COD
2012/10/20(土)	晴れ	19.2	19.4	8.58	20
2012/12/19(水)	曇り	9.5	9.3	8.10	13
2013/01/19(土)	晴れ	5.8	5.4	8.48	5
2013/02/26(火)	曇り	4.2	11.6	7.60	5
2013/04/11(木)	曇り	16.2	15.4	8.60	13
2013/04/27(土)	晴れ	18.9	18.0	7.88	20
2013/05/18(土)	晴れ	27.2	29.2	9.80	30
2013/06/01(土)	晴れ	27.6	26.0	10.13	35
2013/06/15(土)	曇り	31.9	30.4	9.03	25
2013/06/29(土)	晴れ	29.5	31.0	8.72	20
2013/07/13(土)	曇り	31.0	29.5	8.20	25
2013/07/25(木)	晴れ	34.4	32.6	9.06	35
2013/08/09(金)	快晴	32.8	32.7	9.37	25
2013/08/28(水)	晴れ	32.2	30.0	9.88	30
2013/09/14(土)	晴れ	29.5	29.3	9.38	20
2013/10/21(月)	晴れ	20.4	20.2	9.83	30
2013/11/07(木)	晴れ	19.3	19.1	9.38	15
2013/11/23(土)	快晴	12.5	11.3	7.90	9
2013/12/20(金)	雪	5.6	4.8	8.03	12
2014/01/11(土)	晴れ	7.5	6.7	7.30	10
2014/02/01(土)	晴れ	14.0	10.5	7.60	10
2014/04/14(月)	晴れ	20.9	19.1	6.85	15
2014/04/26(土)	快晴	25.7	24.0	7.20	20
2014/05/17(土)	晴れ	23.6	22.7	8.71	25
2014/05/30(金)	晴れ	31.5	29.8	9.02	20
2014/07/04(金)	曇り	27.9	27.9	10.07	20
2014/07/18(金)	晴れ	29.5	29.2	9.63	19
2014/08/05(火)	晴れ	34.8	32.0	9.49	19
2014/08/18(月)	晴れ	34.2	32.4	9.84	11
2014/09/02(火)	晴れ	29.4	29.9	9.95	15
2014/09/26(金)	曇り	26.4	26.3	10.03	18
2014/10/18(土)	快晴	19.1	18.7	9.70	20

表 1 環境データの結果

	藍藻				緑藻											珪藻			鞭毛												
	アナベナ・マクロスポーラ	アナベナ・フロスクラミア	アナベナ・スピロイデスクラミア	M・ペーゼンベルギー	M・ノバセッキ	M・イクチオブラーベ	コエラストルム・ミクロボルム	スタウラストルム・セバルデ	スタウラストルム・ドルシデンティフェルム	スタウラストルム・アークチスコン	セネデスムス・オボリエンス	ユードリナ	テトラスボラ・ラクストリス	ヒビミドロ	コスマリウム・ラルフス	クルキゲニア	デイクチスフェリウム	テトラエドロン	ミカツキモ	キルクネリエラ	サメハダクンシヨウモ	ヒトヅノクンシヨウモ(変種)	フタヅノクンシヨウモ(変種)	アウラコセイラ・アンビグア	A・アンビグア(変種)	ハリケイトウ	ホシガタケイトウ	ケラチウム・ヒルンデムネラ	ミドリムシ	デムノブリオ・シリンドリウム	
2010/07/13(火)	●	●	○					○																	●	●	○	3			
2010/07/21(水)	●	○	○	○				○															1	●	●	○	3				
2010/08/05(木)	●	○	○	○				○				○													○	○	○				
2010/10/21(木)	○		○	○				○				○													○	○	○				
2010/10/28(木)			○	○																					○	○	○				
2010/11/04(木)			○	○																					○	○	○	1			
2010/11/25(木)			○	○																					○	○	○				
2011/02/24(木)			○	○																					○	○	○				
2011/05/12(木)	○	○	○	○	○							1																			
2011/06/09(木)																															
2011/09/24(木)	○		○	○	○				1	○	1	1										1		○	○	○	1				
2011/10/08(土)			○	○																					○						
2011/11/05(土)	○		○	○																											
2012/03/13(火)			○	○																										●	
2012/04/21(土)			○	○				4																	○	○	○	12			
2012/05/17(木)	○	○	○	○																					○	○	○	2			
2012/06/28(木)	○	○	○	○				●	1	1	●					1	3							○	○	○	3				
2012/07/07(土)	◎		○	○			○	●																	○	○	○	2			
2012/07/17(火)	●		◎	○			○	6	○								1	1				1		○	○	○	1				
2012/10/09(火)			◎	○			3	2	○													1		○	○	○	4				
2012/10/20(土)			○	○			3	2	2	1													1		○	○	○	●			
2012/12/19(水)																															
2013/01/19(土)			○																												
2013/02/26(火)			○	○					1																○	○	○				
2013/04/11(木)	○		○	○				○																	○	○	○				
2013/04/27(土)	○	○	○	○				○	2																○	○	○	3			
2013/05/18(土)	◎	◎	○	○				○																	○	○	○				
2013/06/01(土)	◎	◎	○	○				○																	○	○	○	2	3		
2013/06/15(土)	●	◎	◎	○																					○	○	○				
2013/06/29(土)	●	◎	◎	○				○																	○	○	○	3			
2013/07/13(土)	○	○	◎	○				○																	○	○	○	3			
2013/07/25(木)	○	○	◎	○				○									1	2	○					○	○	○	1				
2013/08/09(金)	○		◎	○				○																	○	○	○				
2013/08/28(水)			○	○				○																	○	○	○				
2013/09/14(土)			○	○				○																	○	○	○				
2013/10/21(月)	○		○	○				○																	○	○	○	2			
2013/11/07(木)			○	○				2				1													○	○	○				
2013/11/23(土)			○	○				○																○	○	○	1				
2013/12/20(金)			○	○				○																	○	○	○				
2014/01/11(土)			○	○																					○	○	○				
2014/02/01(土)			○	○																					○	○	○				
2014/04/14(月)			○	○																					○	○	○				
2014/04/26(土)			○	○																					○	○	○				
2014/05/17(土)			○	○				○	○								○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
2014/05/30(金)	○		○	○				○	○															○	○	○	○	2			
2014/07/04(金)			○	○				○																	○	○	○				
2014/07/18(金)			○	○				○	○																○	○	○	2			
2014/08/05(火)			○	○				○																	○	○	○				
2014/08/18(月)			○	○				○																	○	○	○				
2014/09/02(火)	○		○	○				○																	○	○	○				
2014/09/26(金)	○		○	○				○																	○	○	○				
2014/10/18(土)	○		○	○				○																	○	○	○	1			

表2 猿沢池で観察された植物プランクトン

◎：アオコ発生                      ●：多く確認される  
○：複数確認される                  空欄：確認されず

(2) クロロフィル抽出実験

クロロフィル a、b、c の抽出結果を表 3 と図 1 にまとめた。また、クロロフィル値と水温 COD の関係を図 2、クロロフィル a と pH の関係を図 3 にまとめた。

表 4 は、それぞれの植物プランクトンがどのクロロフィルを保有しているのかを表したものである。○は保有していることを表す。※参考文献(1)より

表 4 より、クロロフィル a の量が最も大きくなるはずだが、実験では、そのような結果にならなかった場合もあった。

	Chl.a	Chl.b	Chl.c
2012.10.20	5.58	-1.51	1.68
2013.01.19	27.01	-7.15	-7.26
2013.02.26	6.23	1.52	7.31
2013.03.13	9.59	3.47	9.73
2013.04.11	6.20	1.84	5.54
2013.04.27	5.48	1.42	4.35
2013.05.18	6.44	1.32	3.46
2013.06.01	23.60	0.75	2.76
2013.06.15	103.92	3.37	0.95
2013.06.29	32.58	1.77	2.54
2013.07.13	15.30	1.23	1.60
2013.07.25	13.45	2.09	6.16
2013.08.09	25.76	4.10	8.33
2013.08.28	8.77	1.53	3.11
2013.09.14	0.20	-1.64	-5.30
2013.10.21	0.65	0.18	0.93
2013.11.07	5.33	-0.62	-1.68
2013.11.23	4.45	0.19	0.80
2013.12.20	4.67	0.79	1.07
2014.01.11	3.08	0.44	0.72
2014.02.01	3.64	1.01	0.63
2014.04.14	6.34	15.86	20.22
2014.04.26	5.95	4.21	17.51
2014.05.17	12.68	1.54	4.33
2014.05.30	5.88	-0.44	-2.98
2014.07.04	17.78	2.58	3.60
2014.07.18	6.26	1.50	3.20
2014.08.05	10.13	2.74	7.59
2014.08.18	5.77	-1.37	-5.77
2014.09.02	15.89	1.96	3.17
2014.09.26	9.06	-2.12	3.35
2014.10.18	9.34	1.87	5.00

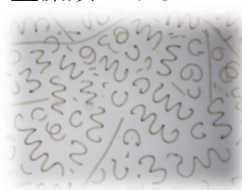
表 3 クロロフィル a,b,c(mg/m<sup>3</sup>)

	藍藻	緑藻	珪藻
クロロフィルa	○	○	○
クロロフィルb		○	
クロロフィルc			○

表 4 プランクトンが含むクロロフィルの種類

結果を整理すると次のようになる。

- ・猿沢池の水質はアルカリ性で、夏ごろ、プランクトンの個体数、水温、COD、Chl.a の値が増加し、冬になると、減少する傾向にある。
- ・藍藻類や珪藻類は、特定の 2~4 種が大量に見られるが、それに比べ、緑藻類は、確認できた種類数は多いものの、個体数は少なかった。主なプランクトンは「8.追補—猿沢池で観察できたプランクトン類—」に掲載している。
- ・気温が高くなり Chl.a の量が増えている時期、猿沢池は濁り、緑色が濃くなる。その時、ミクロキスティスやアナベナの仲間など藍藻類が増殖した。
- ・顕微鏡観察により、藍藻類であるミクロキスティスやアナベナの仲間は、プレパラート全体を覆うことがあり、大量発生することが観察できた(上図)。
- ・緑藻類の Chl.b 量は、変化が小さく、その量も少ない。また、目視でも圧倒的に緑藻類が少なかった。
- ・緑藻類と珪藻類のクロロフィル量による差はあまりなかった。
- ・表 2 には無いが、アオコ発生の前の採集時に普段は見られないはずのミドリムシが確認された。これは今年だけでなく去年にも同じことが確認できている。



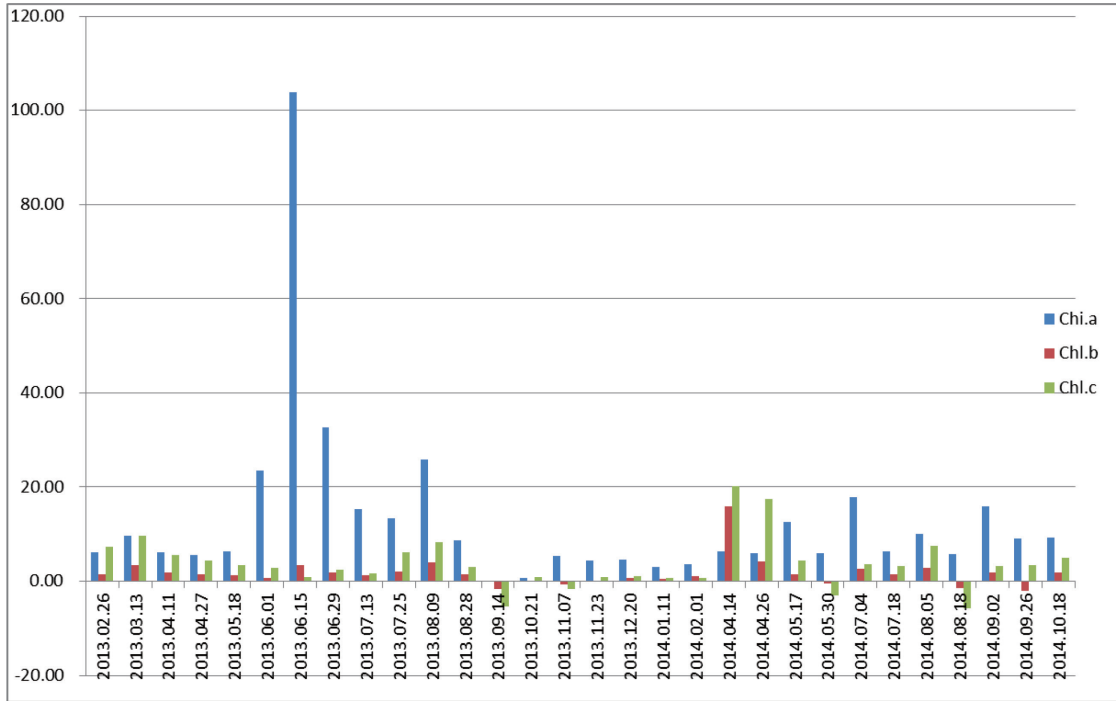


図1 クロロフィル a,b,c(mg/m³)

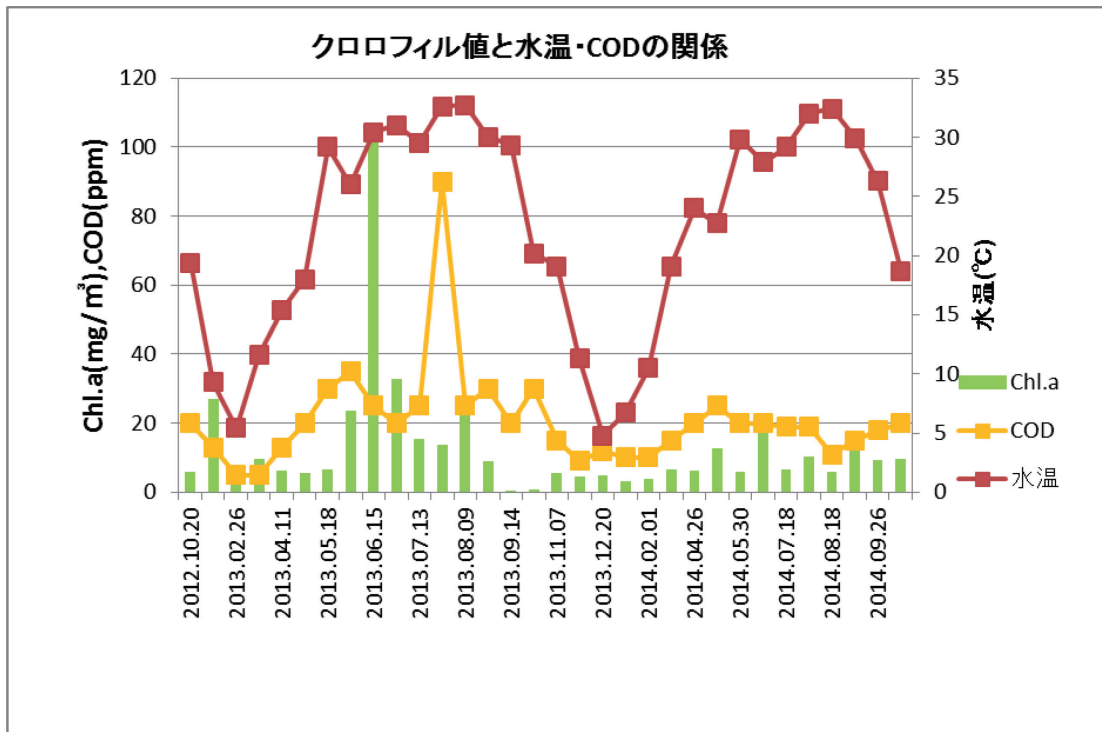


図2 クロロフィル値と水温・CODの関係

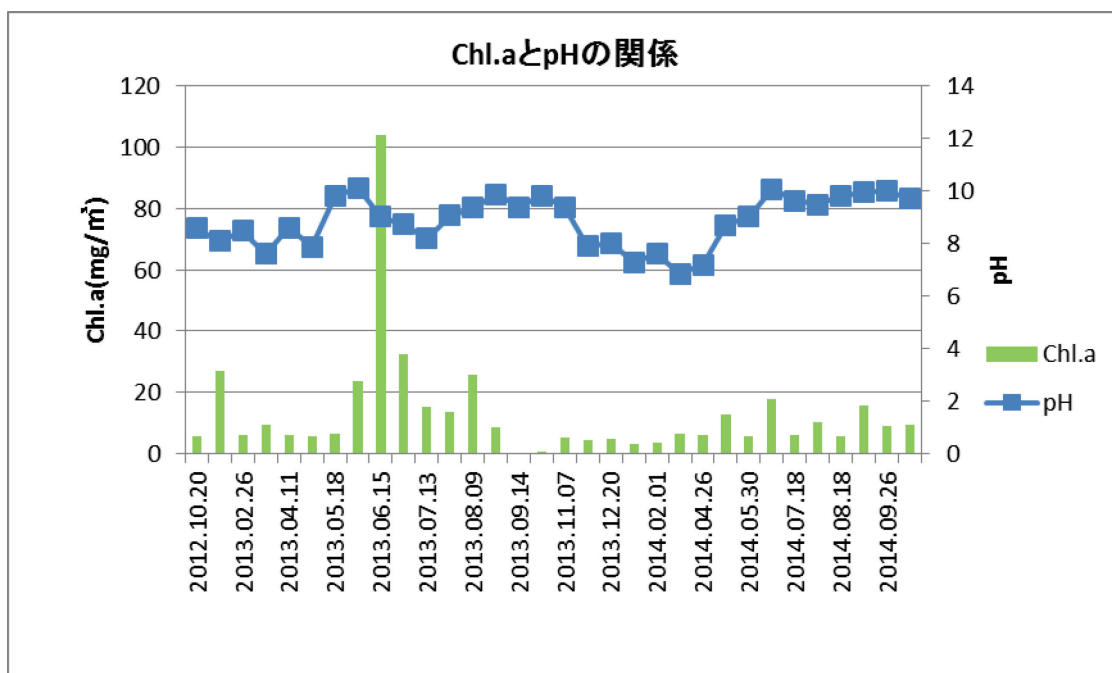


図3 Chl.a と pH の関係

#### 4. 考察

- 2014年2月～3月ごろに池の水を入れ替える作業が行われた。水温や pH には大きな変化は見られなかったが、COD の値が以前よりも低くなっていた。また、緑藻類の種類数と個体数が増加し、アオコの原因となる藍藻類の個体数は減少した。よって、水の入替えにより、アオコの発生が軽減されると考えられる。
- 猿沢池の水が年間を通してアルカリ性だった。これは、猿沢池には排水溝が一箇所あり、アルカリ性の家庭排水が流れこんでいることによるためだと思われる。図2からもわかるように、この水質は pH の値が変化しても、プランクトンの増減にはとくに変化がなかったことから、水質はプランクトンの増減にはあまり影響を与えないと思われる。
- 藍藻類や珪藻類は、特定の2～4種が大量に見られるが、それに比べ、緑藻類は、確認できた種類数は多いものの、個体数は少ない。それは、猿沢池の水が藍藻類や珪藻類が増殖しやすい水質であるのだと考えられる。また、表2より藍藻類と珪藻類は年間を通してよく見られるが、緑藻類は観察できた時期が限られる。よって、藍藻類や珪藻類の方が繁殖力が強い可能性があると考えられる。
- 図2より気温が上昇し、Chl.a の値が急激に増加しているが、そのとき、猿沢池は濁り、緑色が濃くなった。これはアオコの発生だと考えられる。アオコは5月の半ばから発生し始め6月中旬にピークをむかえた。このときクロロフィルbとクロロフィルcの値はあまり変化していない。これは、ク

クロフィル a はすべての植物プランクトンが保有しているのに対し、クロロフィル b と c はそれぞれ緑藻類、珪藻類が保有していることから、藍藻類が多く増えていることがわかる(表 4 参照)。藍藻類の中でもミクロキスティスとアナベナが多く増殖しており、ミクロキスティスには他のプランクトンには無い繁殖に有利な垂直運動ができるといわれており、光合成をより有利に行い、よく増加したと思われる。

- 図 2 より、水温の上昇から少し遅れて Chl.a の値が増加し、また少し遅れて COD の値が増加している。これは、水温の上昇に伴って藍藻類が大量に増殖し、その後死骸となって水中の有機物が増えたためだと考えられる。また、気温が上がるにつれ、水温も上昇し、Chl.a の値が増加したのは、日が出る時間が長くなり植物プランクトンの光合成が活発になることによって増殖したのだと思われる。また、気温が上がると動物プランクトンも増えることから、植物プランクトンを食べる動物プランクトンも増殖したと考えられる。しかし、クロロフィル a の量は増える前とあまり変わらず、藍藻類などは食べられずに残っていると考えられる。
- 図 1 より、緑藻類のクロロフィル量について、目視では圧倒的に緑藻類が少ないが、グラフにしてみると、珪藻類との差があまりなかった。これは緑藻類の 1 個体が他の類に比べて大きいものが多いので、全体におけるクロロフィル量が予想以上に多かったためだと

考えられる。珪藻類全体のクロロフィル量は変化が小さく、急に増加することがある。

- 図 3 より、Chl.a 量の変化と pH の値の変化については特に関係はないと思われる。
- 表 2 には無いがアオコ発生の前の採集時に普段は見られないはずのミドリムシが確認された。これは今年だけでなく去年にも同じことが起きた。このことからミドリムシが出現することが、アオコの発生の前兆となるのではないかと考えられる。

## 5. 今後の課題

- 藍藻類がもつ窒素固定の能力と大量発生の関係について調べたい。
- クロロフィルの値を正確に計算できるように工夫をしたい。

## 6. 参考文献

- [1] 西條八東, 三田村緒佐武(1995)「新編湖沼調査法」講談社
- [2] 一瀬諭, 若林徹哉(2005)「やさしい日本の淡水プランクトン図解ハンドブック」合同出版株式会社
- [3] 田中正明(2002)「日本淡水産動植物プランクトン図鑑」名古屋大学出版会
- [4] 月井雄二(2010)「淡水微生物図鑑原生生物ビジュアルガイドブック」誠文堂新光社

## 7. 謝辞

今回の研究にあたり、指導して下さった矢野先生、適宜アドバイスをいただいた櫻井先生に深く感謝申し上げます。

## 8. 追補 —猿沢池で観察されたプランクトン類—

2010年11月～2013年10月までに猿沢池で観察されたプランクトンのうち、主な種を示す。

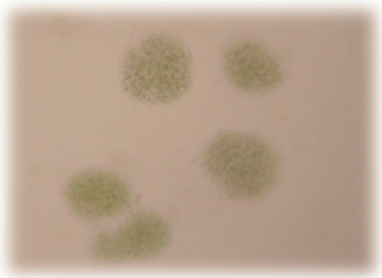
種名の後の★は出現頻度を示し、**春夏秋冬**は出現季節を示す。なお、写真はすべて筆者が顕微鏡撮影装置を用いて撮影したものである。

### ミクロキスティス属

細胞は球形で、多数の細胞が密集しているのが特徴。まわりが寒天質の透明な膜でつまれている。その膜が見えにくいものもある。細胞内にガス泡があり、顕微鏡では黒っぽく見える。

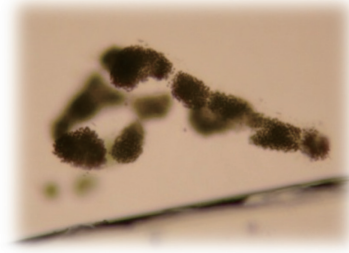
\*ミクロキスティス・ベーゼンベルギー  
★★★★★ **春夏秋冬**

猿沢池で最もよく見られる種類である。細胞は緑色で、寒天質の膜が顕微鏡でははっきりと観察でき、球状の形をしている。大量発生するとアオコを引き起こす。



\*ミクロキスティス・ノバセッキ  
★★★★★ **春夏秋冬**

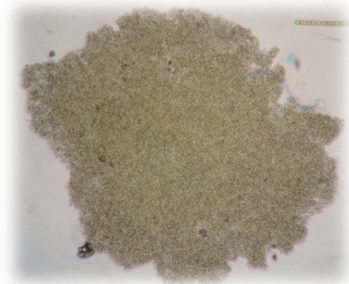
細胞はこげ茶色で、寒天質の膜がはっきりと観察できる。群体は不規則な球状で、群体同士が重なり合うことがある。



\*ミクロキスティス・イクチオブラーベ

★★★★☆ **春夏秋冬**

細胞の色は緑っぽい茶色。群体は不定形でスポンジ状、細胞は互いに多少離れて並んでいる。細胞の大きさは2.5～5マイクロメートル。M・ベーゼンベルギーに似ているが、細胞の大きさがベーゼンベルギーよりも小さい。



### アナベナ属(ネンジュモ)

細胞は球形または樽型で、形は種によってさまざまである。

\*アナベナ sp.

★★★★☆ **春夏秋冬**

まっすぐかわずかに湾曲する。細胞は球形か樽型。大量発生するとアオコを引き起こす。

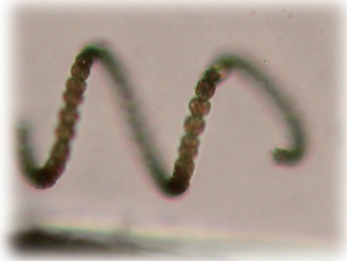




\*アナベナ sp.

★★★★☆ 春夏秋冬

螺旋状にねじれる。細胞は球形。大量発生するとアオコを引き起こす。



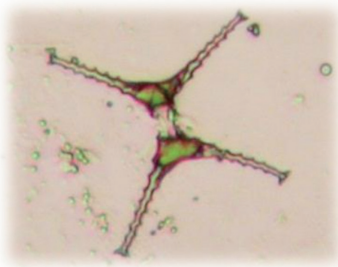
### スタウラストルム属

細胞は大きさや形がさまざま、たくさんの種類がある。

\*スタウラストルム・ドルシデンティフェルム

★★★★☆ 春夏秋

猿沢池で観察されるスタウラストルム属の中で最もよく観察できる種類である。突起の先端が枝分かれているのが特徴である。

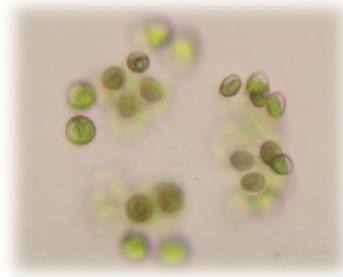


### テトラスポラ属(ヨツメモ)

\*テトラスポラ sp.

★★★★☆ 春夏秋冬

細胞は球形でカップ状の葉緑体をもっている。群体の直径は約 300 マイクロメートル。

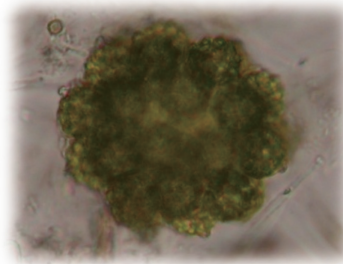


### コエラストルム属

\*コエラストルム sp.

★☆☆☆☆ 春夏

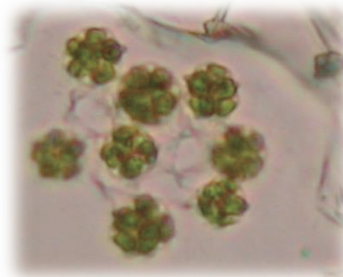
細胞が互いに接着してスポンジボールのような群体を作る。細胞は球形か卵形か多角形で、ふつうひとつのかたまりの細胞数は 8 個、16 個、32 個である。



\*コエラストルム・マイクロポルム

★★★★☆ 春夏秋

細胞が互いに接着してできた、複数の小さな細胞が連絡している。

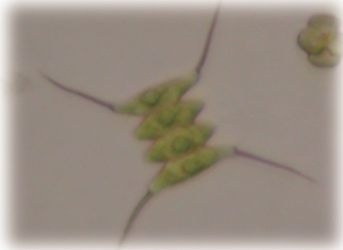


### セネデスムス属(イカダモ)

\*セネデスムス sp.

★★☆☆☆ 春夏秋

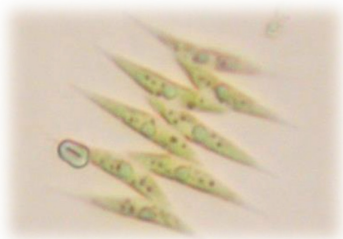
細胞の形は楕円形。4個または8個の細胞が並んだ群体をつくる。



\*セネデスムス sp.

★★☆☆☆ 春夏秋

細胞の形は三日月形。8個または16個の細胞が並んだ群体をつくる。

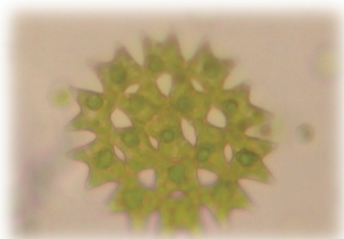


### ペディアストルム属(クンショウモ)

\*フタヅノクンショウモ

★★☆☆☆ 春夏秋

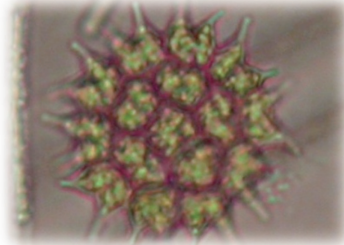
通常4、8、16、32、64個の決まった数の細胞が、一平面上に放射状に並び、群体をつくる。二つの角があり、細胞間に隙間がある。細胞の長さは12~25マイクロメートル。



\*サメハダクンショウモ

★★☆☆☆ 夏秋

二つの角があり、細胞間の隙間がほとんど無い。また、細胞の表面にはぶつぶつがある。



### アウラコセイラ属

\*アウラコセイラ sp.

★★★★★ 春夏秋冬

体は丸い筒状。まっすぐな個体や、規則正しい螺旋状に巻いている個体がある。

猿沢池では、螺旋状の個体が多く見られる。

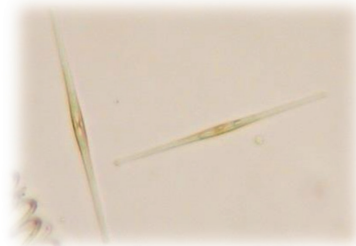


### シネドラ属(ハリケイソウ)

\*シネドラ sp.

★★★★★ 春夏秋冬

多くは単独で生活している。細長くて両端が針形になっている。大量発生することがある。

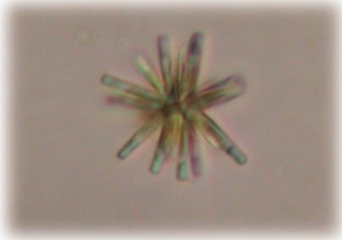


### アストリオネラ属(ホシガタケイソウ)

\*アストリオネラ sp.

★★★★☆ 春夏秋冬

普通は、複数の細胞のひとつの端がくっついて星型になっていることが多い。

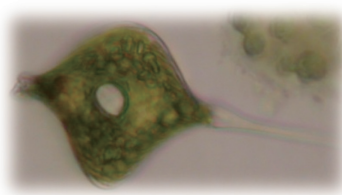


### ファッカス属のなかま(ウチワヒゲムシ)

\*フォッカス sp.

★★☆☆☆ 春夏秋

細胞は主に菱形や卵円形である。体がねじれた形の個体もある。



### ケラチウム属(ツノモ)

\*ケラチウム sp.

★★★★☆ 春夏秋冬

単細胞性で細胞の周りの殻に数本の突起がある。突起は細胞の一方に1本、反対側に2,3本ある。

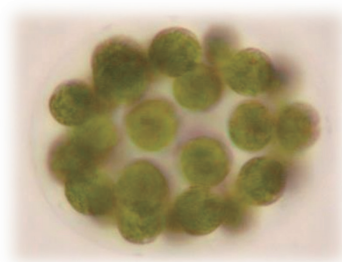


### ユードリナ属(タマヒゲマワリ)

\*ユードリナ sp.

★★☆☆☆ 春夏秋

細胞は球形。球状の群体を形成する。群体は、寒天質の膜につつまれている。

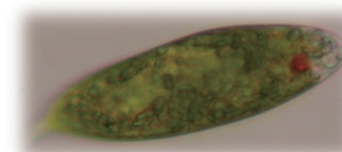


### ユーグレナ属(ミドリムシ)

\*ユーグレナ sp.

★★☆☆☆ 春夏秋

細胞は細長いものから球形のものまで様々である。



### ダフィニア属(ミジンコ)

\*ケンミジンコ

★★★★☆ 春夏秋冬

猿沢池で観察されるミジンコのうち、最もよく見られる種類である。季節に関係なく大量発生する。春先、体の周りにクロレラが付着していることがある。

