

## 7 アオコ増殖と塩素イオン濃度との関係について

【水質調査科】

南 條 吉 之 ・ 田 中 賢 之 介 ・ 安 田 満 夫

### 1 はじめに

湖山池は、鳥取市西部に位置し、水面積6.8km<sup>2</sup>、平均水深2.8m、塩素イオン濃度41~1,200mg/ℓの海跡湖である。

5年間の平均水質は、COD 6.2mg/ℓ、TN 0.742mg/ℓ、TP 0.045mg/ℓ、クロロフィル a (Chl-a) 44.1 μg/ℓで、夏期にアオコが異常発生するなど富栄養化した湖である。

このアオコの異常発生を主要因とする植物プランクトンによる内部生産は、COD年平均値の51%にも達しており<sup>1)</sup>、湖山池の水質汚濁を考える場合、大きな割合を占めている。

湖山池の水質改善に資するため、アオコの増殖と塩素イオン濃度等との関係について、単藻培養したアオコを使用して培養実験を行い、若干の知見を得たので報告する。

また、参考のため、近年の湖山池、東郷池、宍道湖でのアオコの発生状況と塩素イオン濃度との関係についても考察をした。

### 2 実験方法<sup>2)</sup>

#### (1) 供試藻類

藍藻類の *Microcystis aeruginosa* KÜTZING を1990年2月と1991年12月に湖山池中央部底泥から、キャピラリーピペット法で分離したものを使用した。

#### (2) 藻類培養装置による室内実験

理研式藻類培養試験器 GT-40 を使用し、水温30℃、照度2,000 Lx で7~10日間培養した。

培養液は、湖山池の上層水を滅菌したものに、栄養塩類 (N : 2~4mg/ℓ、P : 0.2~0.4mg/ℓ、Fe (クエン酸鉄) : 0.4mg/ℓ) を添加、濃縮美保湾海水で塩素イオン濃度70~5,000mg/ℓの間で5段階に調整しアオコ (*Microcystis aeruginosa*) を植種して

作成した。

#### (3) 湖山池での藻類培養現地実験

室内実験と同様の培養液を培養ビンに入れて湖水中に設置し、自然条件下での培養を行った。

### 3 実験結果

#### (1) 室内実験結果

実験結果の概要を表-1に示した。

##### ① Cl<sup>-</sup>濃度が2,200mg/ℓ以下の状況

Chl-aの初期値2.2~62.2 μg/ℓが30.8~237 μg/ℓとすべて増加した。

pHは初期値6.4~8.7が9.1~10.6と高値を示し、pH 10以上では、Chl-aは100 μg/ℓ以上となっている。

CODは4.0~6.5mg/ℓが6.5~17.2mg/ℓとすべて増加した。

##### ② Cl<sup>-</sup>濃度が2,360mg/ℓ以上の状況

Chl-aの初期値2.2~63.4 μg/ℓが0.0~8.0 μg/ℓとすべて減少した。

pHは初期値6.3~8.9が7.6~9.6を示した。

COD 3.8~5.9mg/ℓが3.2~7.6mg/ℓとあまり変わらなかった。

##### ③ アオコの増殖と塩素イオン濃度との関係

アオコ (*Microcystis aeruginosa*) の増殖と Cl<sup>-</sup>濃度の関係を室内実験から考察する。

第1回：Cl<sup>-</sup>濃度が130、1,060、2,060mg/ℓにおけるChl-aの最大値は、それぞれ195、126、95.2 mg/ℓで増加を見たが、3,010mg/ℓ以上ではChl-aは減少した。

第2回：Cl<sup>-</sup>濃度が120、710、1,400、2,200mg/ℓでは増加したが、3,600mg/ℓは減少した。

第3回：Cl<sup>-</sup>濃度が110、980、2,000mg/ℓでChl-aは増加したが、3,000、4,800mg/ℓでは減少した。

第4回：Cl<sup>-</sup>濃度が230、2,060mg/ℓでChl-aは

表 1 室内実験結果の概要

	Cl <sup>-</sup> (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ) 初期値 → 最大値 (最小値)	Chl-a (μg/ℓ) 初期値 → 最大値 (最小値)	pH 初期値 → 最大値 (最小値)
第 1 回	130	5.4 → 12.7	53.2 → 195	8.3 → 10.3
	1,060	6.5 → 12.6	62.2 → 126	8.3 → 10.0
	2,060	5.1 → 9.9	61.1 → 95.2	8.5 → 9.9
	3,010	5.0 → 7.6	63.4 → 8.0	8.7 → 9.6
	5,060	5.9 → 6.1	63.4 → 8.0	8.9 → 9.3
第 2 回	120	5.3 → 17.2	2.3 → 223	8.5 → 10.6
	710	5.4 → 13.5	2.2 → 121	8.5 → 10.1
	1,400	3.9 → 13.8	2.3 → 108	8.5 → 10.0
	2,200	4.2 → 7.7	2.2 → 30.8	8.7 → 9.1
	3,600	4.2 → 5.5	2.2 → 0.0	8.7 → 8.5
第 3 回	110	5.1 → 10.7	11.0 → 211	8.7 → 10.1
	980	5.3 → 9.9	10.9 → 121	8.7 → 9.9
	2,000	5.7 → 8.0	6.7 → 98.5	8.7 → 9.4
	3,000	5.4 → 6.2	11.7 → 3.5	8.9 → 8.8
	4,800	4.6 → 5.5	9.9 → 0.0	8.9 → 8.7
第 4 回	230	4.2 → 12.0	10.8 → 237	6.4 → 10.4
	2,060	4.0 → 6.5	10.8 → 130	6.4 → 10.3
	2,360	3.8 → 3.5	10.8 → 1.1	6.5 → 7.8
	2,640	4.1 → 3.2	11.3 → 1.1	6.5 → 7.7
	3,030	3.8 → 3.6	10.4 → 0.0	6.3 → 7.6

増加したが、2,360mg/ℓ 以上では減少した。

Chl-a 値は、4 回の実験で、いずれも Cl<sup>-</sup> 濃度が最小値の時、最大値を示した。Cl<sup>-</sup> 濃度が一番低濃度の130、120、110、230mg/ℓ は、湖山池の湖水の Cl<sup>-</sup> 濃度と同程度である。このことは、アオコは低塩分濃度である淡水での増殖量が多いが高塩分濃度になるに従って増殖量は少なくなることを示している。

このことを実証するために、湖山池湖水の Cl<sup>-</sup> 濃度での Chl-a の最大値と他の Cl<sup>-</sup> 濃度での Chl-a の最大値の関係を表-2 に示した。

アオコの増殖量は、湖山池湖水の Cl<sup>-</sup> 濃度での最大増殖量を100%とすれば、Cl<sup>-</sup> 濃度が1,000mg/ℓ で

57~65%、2,000mg/ℓ で47~55%、2,360mg/ℓ 以上ではアオコは増殖しないことが分かった。

## (2) 現地実験結果

実験結果の概要を表-3 に示した。

第1回：Cl<sup>-</sup> 濃度が2,100mg/ℓ 以下ではアオコの増殖が見られたが、3,100mg/ℓ 以上では見られなかった。

第2回：湖山池の水温が15.3~16.3℃と低温のため、増殖は見られなかった。

現地実験においても、室内実験と同様に、Cl<sup>-</sup> 濃度2,100mg/ℓ 以下で増殖し、3,100mg/ℓ 以上では増殖しなかった。また、水温16℃程度では増殖しないものと考察される。

表2 アオコの増殖と塩素イオン濃度との関係

第1回	Cl <sup>-</sup>	mg/ℓ	130	1,060	2,060	3,010	5,060
	Chl-a	mg/ℓ	195	126	95.2	8.0	8.0
	比率	%	100	65	49	4.1	4.1
第2回	Cl <sup>-</sup>	mg/ℓ	120	710	1,400	2,200	3,600
	Chl-a	mg/ℓ	223	121	108	30.8	0.0
	比率	%	100	54	48	14	0.0
第3回	Cl <sup>-</sup>	mg/ℓ	110	980	2,000	3,000	4,800
	Chl-a	mg/ℓ	211	121	98.5	3.5	0.0
	比率	%	100	57	47	1.7	0.0
第4回	Cl <sup>-</sup>	mg/ℓ	230	2,060	2,360	2,640	3,030
	Chl-a	mg/ℓ	237	130	1.1	1.1	0.0
	比率	%	100	55	0.0	0.0	0.0

表3 現地実験結果の概要

	Cl <sup>-</sup> (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ) 初期値→最大値 (最小値)	Chl-a (μg/ℓ) 初期値→最大値 (最小値)	pH 初期値→最大値 (最小値)	備考 (水温)
第1回	77	4.3 → -	0.9 → -	7.7 → -	27.5 (初日)
	1,100	4.2 → 5.4	0.9 → 7.2	7.6 → 8.7	
	2,100	3.5 → 4.5	0.9 → 1.6	7.6 → 8.3	
	3,100	4.3 → 4.3	0.7 → 0.5	7.5 → 8.5	
	5,000	3.6 → 4.2	0.9 → 0.0	7.7 → 8.8	
第2回	76	5.5 → 7.4	9.0 → 1.7	8.0 → 8.2	15.3~16.3°C
	1,000	5.3 → 6.3	7.8 → 1.2	7.7 → 7.9	
	2,000	5.5 → 6.0	7.8 → 1.7	7.7 → 7.9	
	3,000	5.2 → 6.0	7.0 → 2.2	8.2 → 8.4	
	5,000	4.9 → 5.5	6.8 → 1.0	8.6 → 8.8	

#### 4 アオコの増殖特性

室内実験での Cl<sup>-</sup> 濃度とアオコの増殖量 (その Cl<sup>-</sup> 濃度における最大 Chl-a 濃度) の関係をグラフにして図-1 に示した。

Cl<sup>-</sup> 濃度とアオコの増殖量は、逆相関の関係で相関係数 -0.908 (n=14) 回帰直線は

$$\text{Chl-a} = -0.075 \times \text{Cl}^- + 217$$

である。

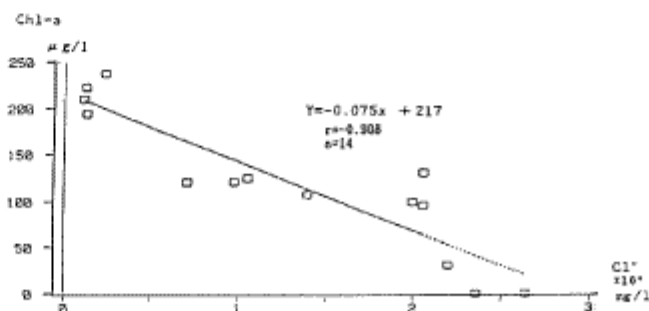


図1 塩素イオン濃度とアオコ (Chl-a) の最大値

## 5 近年のアオコの発生状況と塩素イオン濃度との関係

湖山池、東郷池、宍道湖におけるアオコの発生状況と  $\text{Cl}^-$  濃度との関係を知るため、各湖沼の中央部上層のアオコ *Microcystis* と *Anabaena* の発生量と塩素イオン、水温、Chl-a の関係について見れば、次のとおりである。

### (1) 湖山池

湖山池の水温は、夏期（6～10月）は22～31.5℃、冬期（11～5月）は3～20.5℃と、夏期に高く冬期に低い。アオコ、特に、*Microcystis* の増殖は、水温の影響を受け、25℃以上では良く増殖し、20℃以下ではあまり増殖しない。

湖山池でのアオコの発生は、6～10月に見られ、*Anabaena* が発生初期に、その後 *Microcystis* がアオコの主体として発生している<sup>3)</sup>。

Chl-a、アオコと水温の推移を図-2に示した。植物プランクトンが増殖すれば、Chl-aが増加するが、夏期のChl-aのほとんどはアオコに起因している。アオコの発生が水温に影響されることがグラフから良く分かる。

湖山池の夏期の  $\text{Cl}^-$  濃度は、41～370mg/ℓ（昭和59年～平成元年）であり「アオコの増殖と塩素イオン濃度との関係」で述べたとおり、この程度の  $\text{Cl}^-$  濃度ではアオコ発生の制限因子となっていない。むしろ水温が制限因子となっている。

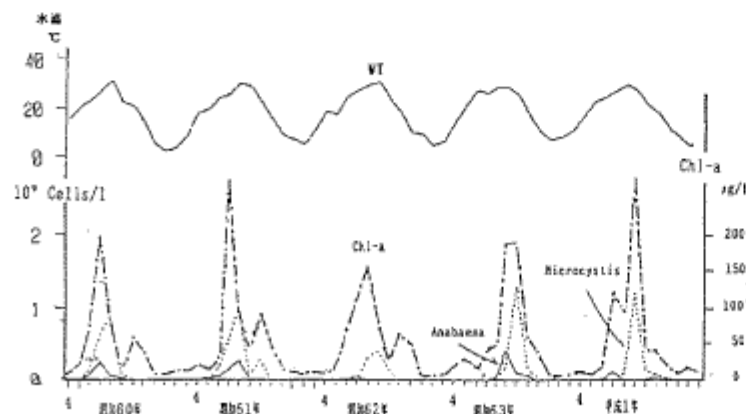


図2 湖山池のアオコ、Chl-a と水温の推移

### (2) 東郷池

東郷池の水温は、夏期（6～10月）に18～28.8℃と *Microcystis* 増殖には適している。しかし、昭和57年～平成3年の10年間で、*Microcystis* は昭和61年7～8月に優占種となり、昭和63年7月に認められた以外には発生していない。

これは、通常、夏期に湖水の  $\text{Cl}^-$  濃度が平均1,700mg/ℓと高いこと、さらに、変動幅が270～6,200mg/ℓと大きいことに起因していると考察される。ちなみに、昭和61年6月～8月の  $\text{Cl}^-$  濃度は330～870mg/ℓ、昭和63年6月～8月の  $\text{Cl}^-$  濃度は560～780mg/ℓで  $\text{Cl}^-$  濃度が低く安定している時に発生している。

東郷池中央部の  $\text{Cl}^-$  濃度とアオコの推移を図-3に示した。

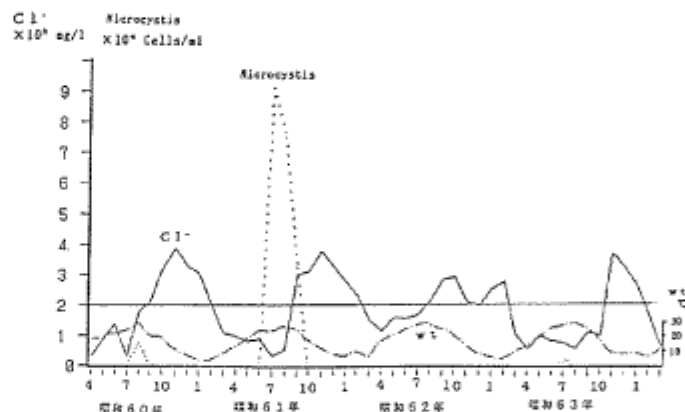


図3 東郷池の塩素イオンとアオコの推移

### (3) 宍道湖

宍道湖の  $\text{Cl}^-$  濃度は480～4,400mg/ℓである。おおむね1,000mg/ℓ以上であり、その濃度変化も大きく、昭和57年～63年までで63年しか *Microcystis* の増殖は見られない。

昭和60年7月と61年7～8月は、 $\text{Cl}^-$  濃度が480～740mg/ℓであるが、*Microcystis* は認められず、*Anabaena* が発生している。

$\text{Cl}^-$  濃度とアオコの発生状況を表-4に示した。

表4 宍道湖中央部上層の塩素イオンの状況とアオコの発生状況 (単位 mg/ℓ)

年度	7月	8月	9月	10月	アオコの発生状況
57	2,800	3,200	3,400	2,300	なし
58	2,400	1,200	1,100	890	なし
59	1,600	2,300	3,600	4,400	なし
60	660	1,100	1,500	1,400	8月 Anabaena $103 \times 10^5 \text{ cell}/\ell$
61	480	740	1,800	2,700	8月 Anabaena $103 \times 10^3 \text{ cell}/\ell$
62	2,800	2,300	2,100	2,700	なし
63	1,300	1,100	1,200	760	8~10月 Microcystis 優占

## 6 まとめ

### (1) アオコの増殖と塩素イオン濃度との関係

培養実験の結果、アオコ (Chl-a) の増殖量は、湖山池湖水と同程度の  $\text{Cl}^-$  濃度での増殖量を100%とすれば、 $\text{Cl}^-$  濃度が1,000mg/ℓで57~65%、2,000mg/ℓで47~55%であった。また、 $\text{Cl}^-$  濃度2,360mg/ℓ以上では増殖が見られなかった。

アオコの増殖量と  $\text{Cl}^-$  濃度の関係は、逆相関の関係にあり、回帰直線は

$$\text{Chl-a} = -0.075 \times \text{Cl}^- + 217$$

(n = 14, r = -0.908)

である。

### (2) 湖沼におけるアオコの発生状況

湖山池の夏期の  $\text{Cl}^-$  濃度は41~370mg/ℓで、アオコ増殖への塩素イオンの影響は、湖山池でのアオコの発生状況からも培養実験結果からも見られない。湖山池の場合は、水温がアオコ増殖の制限因子となっている。

東郷池、宍道湖は、 $\text{Cl}^-$  濃度が湖山池よりも高く、アオコの発生は少ない。 $\text{Cl}^-$  濃度1,500mg/ℓ以上では、ほとんどアオコの発生は見られない。

培養実験結果から推察すれば、この程度の  $\text{Cl}^-$  濃度ならば、アオコの発生が予測されるが、自然環境下の東郷池、宍道湖では、培養実験結果よりもかなり低い  $\text{Cl}^-$  濃度でも、珪藻類等との競合関係および塩素イオン濃度変化が大きいことにより、アオコが発生しにくいものと考察される。

## 謝 辞

本研究を進めるに当たり、宍道湖の水質データの御提供をいただいた鳥根県衛生公害研究所に厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- (1) 安田満夫、南條吉之、田中賢之介、寛 一郎、坂田裕子：湖山池、淡水湖、中海の水質汚濁現象の相違と湖沼の内部生産について、鳥取県衛生研究所報、28、23~55 (1988)
- (2) 矢木修身：アオコの増殖及び分解に関する研究、国立公害研究所研究報告、92 (1986)
- (3) 安田満夫、南條吉之、田中賢之介、寛 一郎、坂田裕子：湖山池の植物プランクトンと栄養塩類の関係、鳥取県衛生研究所報、29、55~62 (1989)