

5 リン濃度とアオコの増殖量の関係について

【水質調査科】

安田 満夫・田中賢之介・南條吉之

1 はじめに

淡水湖の水質汚濁は、植物プランクトンの影響を強く受けており、湖山池ではCODの年平均51%、夏期60%¹⁾を占めている。その主原因は、いわゆるアオコ（藍藻類のMicrocystis）の異常増殖である。

アオコは、夏期に大增殖し、水質を悪化させる。この予測として、①アオコの増殖と水温の関係、②植物プランクトンとリンの関係から、リン濃度から夏季（7～9月平均）のアオコの増殖量の予測を試みた。

2 アオコの増殖と水温との関係

湖山池（中央部：St. 3、上層）の植物プランクトンの発生状況を優占種²⁾について見れば、藍藻類のMicrocystis、Anabaena、緑藻類のPediastrum、

珪藻類のMelosira、Cyclotella、Synedra、Asterionella、Fragilariaの8属である。

藍藻類：Microcystis aeruginosa, Anabaena spiroides は6～10月の夏期に優占しており、特にM. aeruginosaの異常発生によるアオコがしばしば発生している。

緑藻類：Pediastrum sp. は3～9月に出現している。

珪藻類：Melosira granulata は年間を通して出現しているが、11～4月に優占種となっている。Synedra sp.、Asterionella formosa、Cyclotella sp. は12～5月に出現している。

すなわち、藍藻類は夏期に、緑藻類は春季に、珪藻類は冬期に優占する季節変化を示している。

また、Microcystis aeruginosa が優占する夏期には、しばしばアオコが発生し、Chl-aが100 μg/l

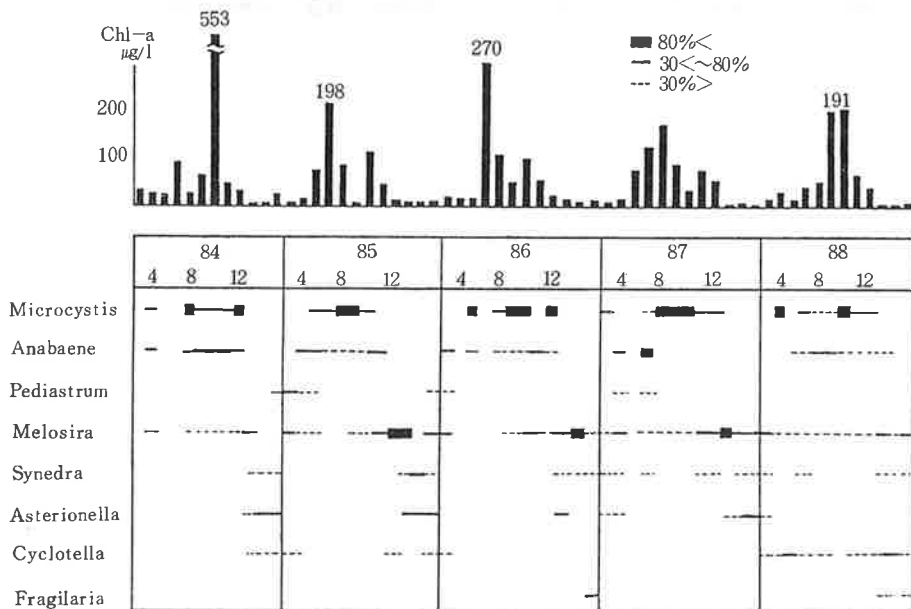


図2-1 植物プランクトンの優占種の経月変化

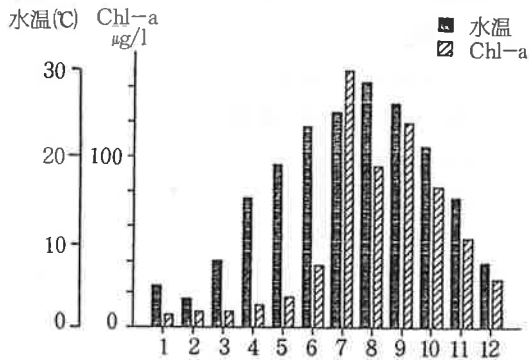


図2-2 水温とChl-aの月別平均値

以上の高値を示している。

冬期には珪藻類が優占するが、Chl-aが $10\mu\text{g/l}$ 以下の低値を示す時がある。

植物プランクトン（Chl-a）と水温の関係を見れば、水温は2月が最低で 3.3°C と低く、3月 8.7°C 、4月 14.8°C 、5月 19.5°C 、6月 23.0°C 、7月 25.1°C まで上昇し、8月は 28.1°C に達する。以下9月 25.8°C 、10月 18.3°C 、11月 13.8°C 、12月 6.8°C 、1月 4.5°C と低下する。

Chl-aは2月が最低で $6.3\mu\text{g/l}$ 、3月 $14.7\mu\text{g/l}$ 、4月 $19.2\mu\text{g/l}$ 、5月 $33.1\mu\text{g/l}$ 、6月 $23.3\mu\text{g/l}$ と、水温の上昇とともに高値になる。7月から10月にかけてはアオコの異常発生により、7月 $45.7\mu\text{g/l}$ 、8月 $64.0\mu\text{g/l}$ 、9月 $90.8\mu\text{g/l}$ 、10月 $73.2\mu\text{g/l}$ と高値を示す。そして水温の低下とともに11月 $42.5\mu\text{g/l}$ 、12月 $15.8\mu\text{g/l}$ 、1月 $7.3\mu\text{g/l}$ と低値になる。

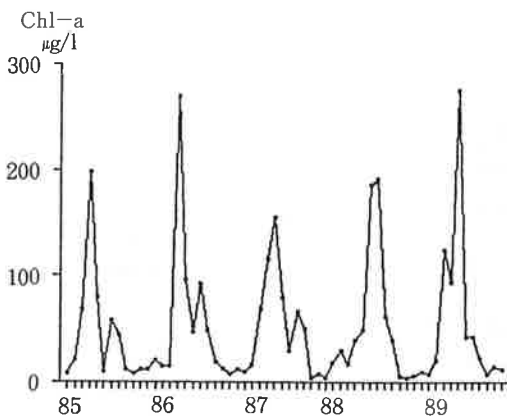


図3-1 湖山池のChl-aの経月変化

1～2月は、水温は $4.5\sim 3.3^\circ\text{C}$ と低温でChl-aも $7.3\sim 6.3\mu\text{g/l}$ と低値であるのに対して、7～9月は、水温 $25.1\sim 28.1^\circ\text{C}$ と高値で、Chl-aも $45.7\sim 90.8\mu\text{g/l}$ と 25°C 以上で植物プランクトンが良く増殖している。

また、同じ水温の場合は、春より秋のChl-aが高値となっている。4月に水温が 14.8°C でChl-a $19.2\mu\text{g/l}$ 、11月は水温が 13.8°C でChl-a $73.2\mu\text{g/l}$ 、5月は水温 19.5°C でChl-a $33.1\mu\text{g/l}$ 、10月は水温 18.3°C でChl-a $73.2\mu\text{g/l}$ と秋の方が $40\sim 50\mu\text{g/l}$ 高値である。

なお、霞ヶ浦³⁾ではMicrocystis aeruginosaは1979年5月から1980年10月にかけての調査では、水温が 20°C を越える5月末から6月初旬（1979年）、6月初旬から中旬（1980年）に急激に増加する。6月から9月初旬の最盛期には高浜入湾奥部では $10^5\sim 10^6$ cell/mlにも達している。

霞ヶ浦でもChl-aは、1～3月が低値で7～9月が高値を示している。

3 植物プランクトンとリンの関係

植物プランクトンの増殖とリンとの関係は、植物プランクトン（Chl-a）とリンとの関係について論じているが、リンは、TP（全リン）、TPP（懸濁態リン）、TDP（溶解性リン）に区分できる。

植物プランクトンは、懸濁態であるので、Chl-aと、TP（全リン）、TPP（懸濁態リン）、TDP（溶解性リン）の関係について考察する。

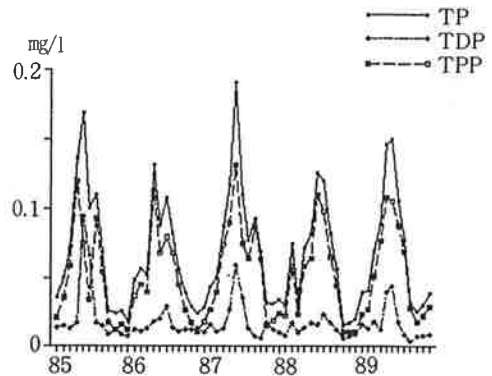


図3-2 湖山池のTP、TPP、TDPの経月変化

1985～1989年の平均値は、Chl-a 52.1 μg/l、TP 0.068mg/l、TPP 0.050mg/l、TDP 0.017mg/l でTPPがTPの73%を占めている。

TPの経月変化は、2月が最低で0.019mg/lで5月まで0.033→0.049→0.057mg/lと高値になり、6～9月は0.041→0.051→0.061→0.122mg/lで9月に高値となっている。

TPPの経月変化は、TPと良く類似した変化を示し、1～3月に低値で、7～9月に高値となる季節変化を示し、その相関係数(n=60)は0.945と高値である。

Chl-aとの相関係数は、TPは0.787、TPPは0.839である。

TDPは、1～3月は低値で、8～9月に高値となるが、TP、TPPに比べて変動幅が少ない。TDPは、8～9月のChl-aがピークを示した翌月に高値を示している。

TDPとの相関係数は、TP 0.709、TPP 0.440、Chl-a 0.354で、TPPとChl-aとは低値である。

このことからChl-aとTPの相関係数が高いのはTDPのTPに占める割合が少ない場合は、あまり問題とならない。Chl-aとリンの関係を論ずる場合は、TPではなく、TPPとの関係について論ずるべきである。

4 リンと夏季の植物プランクトンとの関係

リンと植物プランクトンの関係については、TPよりTPPの方が植物プランクトンと関係があると述べたが、TPPのデータが不足しているので、リ

ンと植物プランクトンの関係をTPとChl-aの関係について検討する。

アオコの発生する霞ヶ浦、諏訪湖、北浦、湖山池と、対照として琵琶湖(北湖)の4年間の平均値から回帰式を算出した。

$$[\text{Chl-a}] = 755 [\text{TP}] - 0.5$$

$$(n = 7, r = 0.981)$$

が得られた。この回帰式からTPとChl-aとの相関関係があることが分かる。

植物プランクトンの増殖は、栄養塩、水温、光強度などの影響を受ける。特にMicrocystisは、水温が高い、夏季にアオコの大増殖をしている。

霞ヶ浦、諏訪湖、北浦、湖山池においては、7～9月にはアオコの大発生を見ている。

アオコによるTPとChl-aは、次のような関係にあると仮定した。

(1) Chl-aは、植物プランクトンに由来している。7～9月の夏季Chl-aは、Microcystis、Anabaenaが優占種となっているので、アオコによるChl-aである。

このことから夏季のChl-aから年平均Chl-aを減じたΔChl-aは、アオコの増殖により発生したChl-aであると仮定すると、

$$\text{Chl-a} = (\text{植物プランクトンによる Chl-a})$$

$$\text{夏季の Chl-a} = (\text{アオコの Chl-a})$$

$$\Delta \text{Chl-a} = (\text{夏季の Chl-aの平均値}) -$$

$$(\text{Chl-aの年平均値})$$

$$= (\text{アオコの増殖により発生した Chl-a})$$

である。

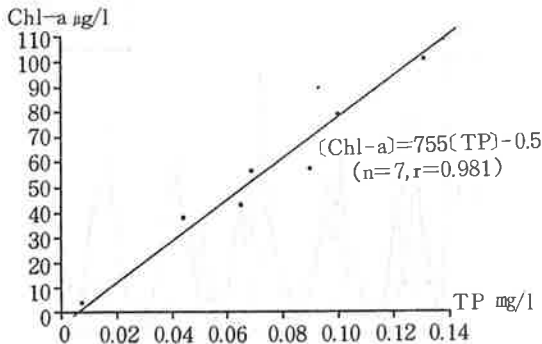


図4-1 主要湖沼におけるTPとChl-aとの関係

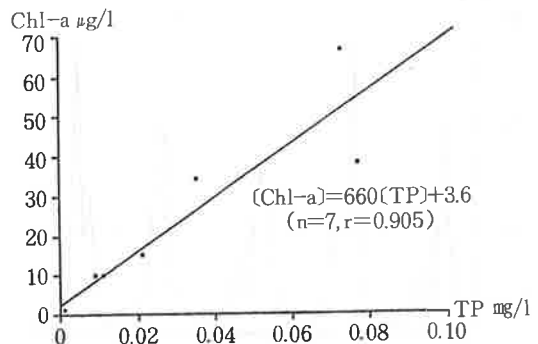


図4-2 主要湖沼におけるアオコの増殖により発生したTPとChl-aとの関係

(2) TPは植物プランクトンの増殖によるTPと外部汚濁TPから構成されている。夏季のTPは、夏季のアオコの発生によるTPと、夏季の外部汚濁TPからなる。同様にTPの年平均値は、植物プランクトンの増殖によるTPと外部汚濁TPからなっている。

外部汚濁は、その汚濁量は降雨などにより変動をしているが、マクロにはあまり変動しないものと仮定すれば、夏季と年平均のTPは等しいこととなる。

$$\begin{aligned} \text{夏季のTP} &= \text{夏季のアオコによるTP} + \\ &\quad \text{夏季の外部汚濁TP} \dots\dots\dots ① \\ \text{TPの年平均値} &= \text{植物プランクトンの増殖による} \\ &\quad \text{TP} + \text{外部汚濁TPの年平均値} \dots\dots\dots ② \end{aligned}$$

①-②
 $\Delta TP = \text{夏季のTP} - \text{TPの年平均値}$
 ①式から②式を減じた ΔTP は、夏季のアオコの増殖により発生したTPである。

夏季の外部汚濁 = 外部汚濁TPの年平均値
 と仮定すれば、
 $\Delta TP = \text{夏季のアオコの増殖により発生したTP}$
③

アオコの増殖により発生したTPとChl-aの関係について見れば、相関係数0.905で、TPとChl-aと関係があり、その回帰式として次式が得られる。

$$\begin{aligned} [\text{Chl-a}] &= 660 [\Delta TP] + 3.6 \\ (n = 7, r = 0.905) \end{aligned}$$

5 平均リン濃度と夏季のアオコ増殖量との関係

霞ヶ浦、湖山池などでは6~10月にはMicrocystis、

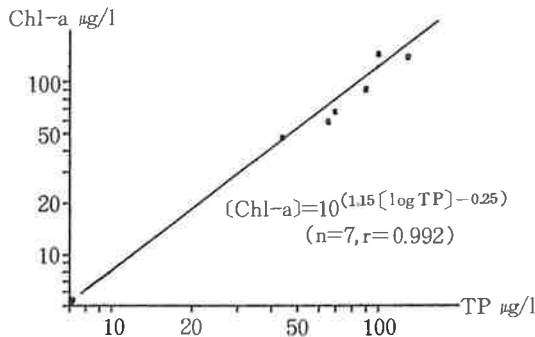


図5-1 平均リン濃度と夏季アオコの増殖量の関係

Anabaenaが優占し、7~9月の夏季にはアオコが大増殖している。夏季のChl-aの平均値とリンの年平均値との関係は図5-1のとおりである。

この回帰式は④式のとおりである。
 $[\text{Chl-a}] = 10^{(1.15 (\log TP) - 0.25)} \dots\dots\dots ④$
 $(n = 7, r = 0.992)$

ただし、TPの単位は $\mu\text{g/l}$ とする。
 回帰式での、Chl-aの実測値と計算値は、表5-1のとおりであり、実測値と計算値と良く合致しており、TPの年平均値から夏季のアオコ発生量の推定が可能である。

表5-1 アオコ(Chl-a)の実測値と計算値

	実測値 ($\mu\text{g/l}$)	計算値 ($\mu\text{g/l}$)
霞ヶ浦 No.3	139	153
” No.8	91	99
” No.9	59	68
諏訪湖	145	112
北浦	48	43
湖山池	66	73
琵琶湖北湖	5.5	5.2

6 まとめ

(1) 霞ヶ浦、諏訪湖、北浦、湖山池における夏季(7~9月)に発生するアオコ(Chl-a)とTPの関係は、

$$\begin{aligned} [\text{Chl-a}] &= 660 [\text{TP}] + 3.6 \\ (n = 7, r = 0.905) \end{aligned}$$

の関係にある。

(2) 外部汚濁は、その汚濁量は降雨などにより変動をしているが、マクロには、年平均値と夏季平均値とは同程度と仮定すれば、リンの年平均値と夏季のアオコの発生量は

$$\begin{aligned} [\text{Chl-a}] &= 10^{(1.15 (\log TP) - 0.25)} \\ (n = 7, r = 0.992) \end{aligned}$$

の関係にある。

実測値と計算値と良く合致しており、TPの年平均値から夏季のアオコ発生量の推定が可能である。

文 献

- (1) 安田満夫、南條吉之、田中賢之介、笈 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第28号、43~55 (1988)
- (2) 安田満夫、南條吉之、田中賢之介、笈 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第29号、55~62 (1989)
- (3) 今村典子、安野正之：霞ヶ浦高浜入における植物プランクトンの種類、組成および現存量の季節変化、国立公害研究所報告、No.22、1981、123-146