

なるほど！環境セミナー

# 琵琶湖アオコの同定法、 計数法、評価法



平成17年11月30日

滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター：一瀬 諭

# 内容：琵琶湖アオコの同定法、 計数法、評価法

- 1 . アオコとは
- 2 . やさしい日本のプランクトン図解・  
ハンドブックを用いた分類と検索
- 3 . アオコの簡易計数法
- 4 . 実習 従来の検索法
- 5 . 琵琶湖のサンプルを用いた同定実習
- 6 . アオコの水質について  
(ディスカッション)

# アオコとは . . . .

湖や池で、アナベナやミクロキスチスが増加し、水面に浮き上がり緑色のペンキを流したような状態。プランクトンの大発生により、水面が赤色、褐色、藍色、緑色など様々に色付く現象で「水の華」のひとつの現象。アオコが発生により、湖や池の美観が損なわれ、また、異臭を放つことがある。

アオコの発生している場所の水を、飲用水として利用する場合、水処理障害や水道水に不快な臭いや味がつく。

アオコを形成する種類の中には、カビ臭、肝臓毒、神経毒などの有害な化学物質を作る種類もある。

# アオコ

大津市際川  
湖岸で発生し  
た アオコ  
2002年9月



写真:滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター

# 琵琶湖におけるプランクトン異常発生の歴史（過去40年間）

滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター

西暦	年	プランクトン・付着藻類	北湖	南湖	備考(原因生物など)
1969	昭和44年	カビ臭プランクトンの初発生			<i>Phormidium tenue</i> (臭気物質2MIB:藍藻類)
1977	昭和52年	淡水赤潮の初発生			<i>Uroglena americana</i> (生ぐさ臭:黄色鞭毛藻類)
1983	昭和58年	南湖でのアオコ初発生			<i>Anabaena affinis</i> (南湖湖岸部:藍藻類)
1989	平成1年	ピコプランクトンの大発生			<i>Synechococcus</i> sp. (超微小種:藍藻類)
1993	平成5年	ゴンフォスフェリアの大発生			<i>Gomphosphaeria lacustris</i> (群体性:藍藻類)
1994	平成6年	北湖でのアオコ初発生			<i>Microcystis aeruginosa</i> (アオコ形成種:藍藻類)
		アオミドロの大発生			<i>Spirogyra</i> sp. <i>Oedogon</i> sp. (湖岸部繁茂:緑藻類)
1998	平成10年	アファノテ - ケの大発生			<i>Aphanothece clathrata</i> (藍藻類)
		オッシラトリアのアオコ初確認			<i>Oscillatoria kawamurae</i> (藍藻類)
1999	平成11年	アファニゾメノンのアオコ発生			<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (藍藻類)
2000	平成12年	エリ網付着性藍藻の大発生			<i>Phormidium</i> sp. (エリ網中層部に付着:藍藻類)
2002	平成14年	湖底でのメタロゲニウム大発生			<i>Metalogenium</i> sp. (マンガン酸化物構造体)

# 藍藻：原核生物

らんそう  
藍藻のなかま P10



一卷き一群体

群体計数

色素が均一に存在する。  
蛍光顕微鏡

辻村・村上担当

# オシラトリアのアオコ（プランクトトックス）

（平成12年8月・琵琶湖文化館前）



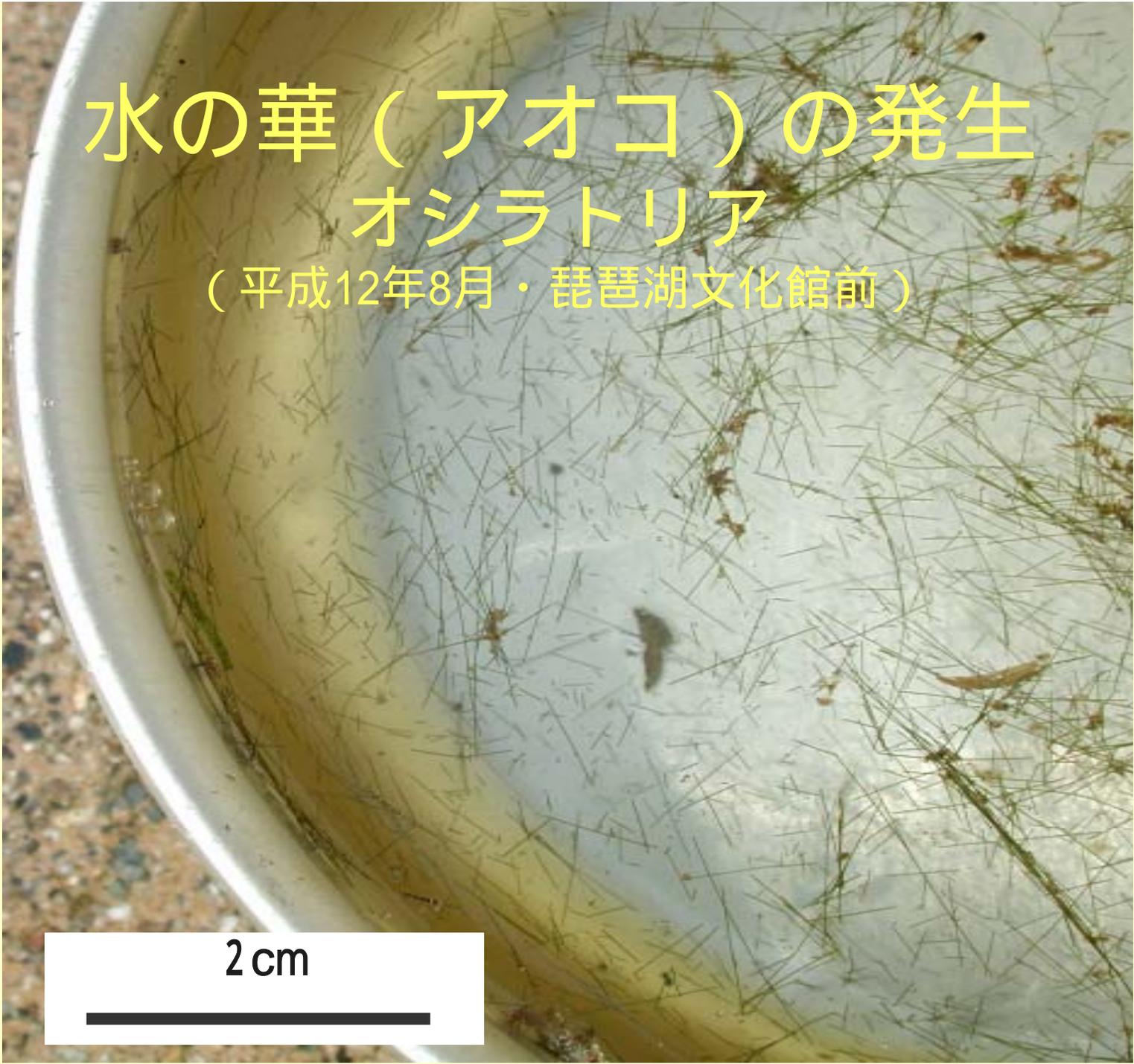
写真：滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター

# 水の華（アオコ）の発生

## オシラトリア

（平成12年8月・琵琶湖文化館前）

2 cm



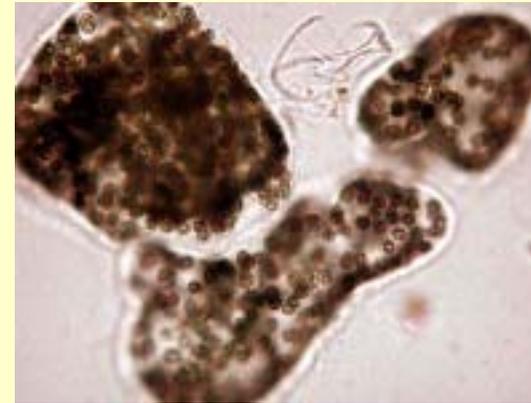
# アオコの分類と計数方法

- ・ クロオコックス目 **Chroococcales**  
ミクロキステイス属
- ・ ユレモ目 **Oscillatoriales**  
プランクトトリックス属
- ・ ネンジュモ目 **Nostocales**  
アナベナ属
- ・ スチゴネマ目 **Stigonematales**  
ウメザキア属

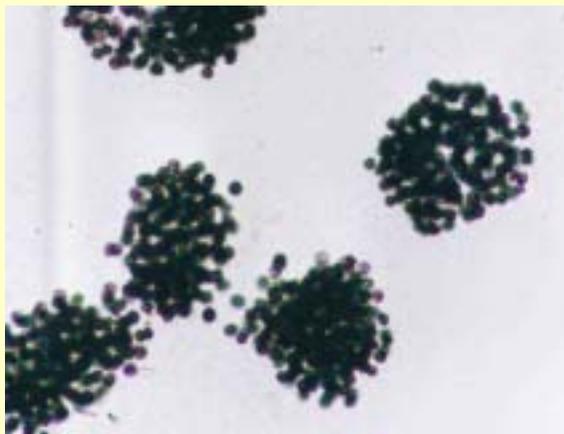
# ミクロキスチス属



*Microcystis aeruginosa*



*Microcystis wesenbergii*



*Microcystis novacekii*



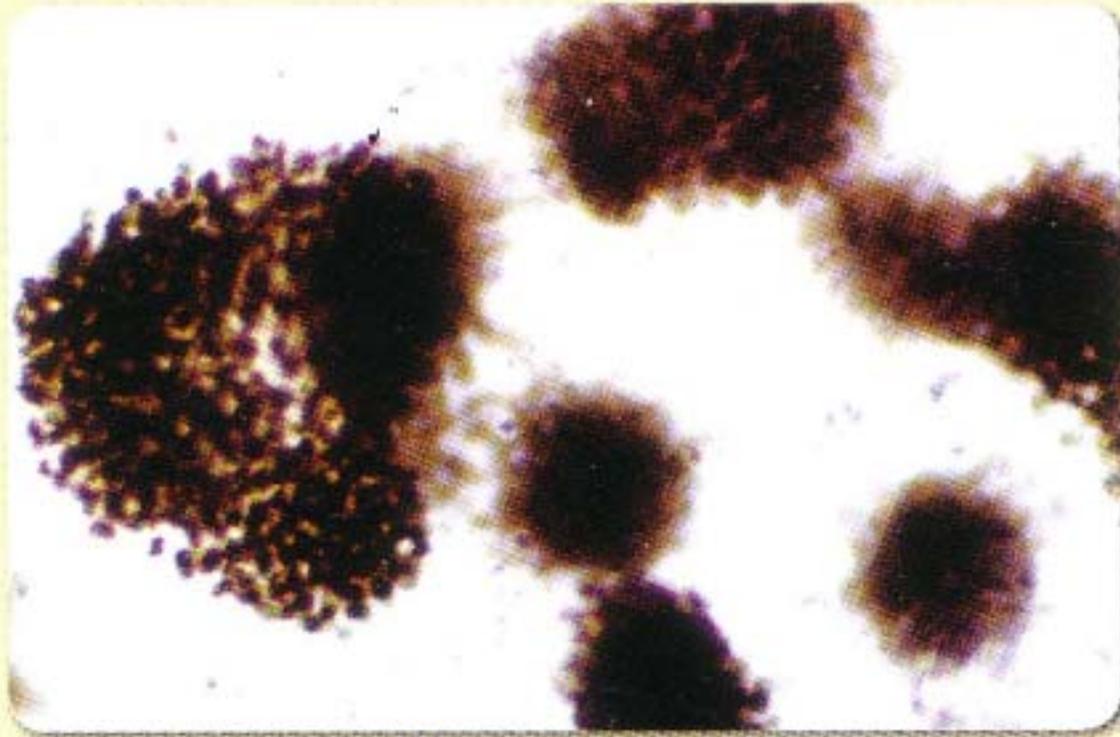
*Microcystis viridis*

## ミクロキスティス エルギノーザ

*Microcystis aeruginosa*

群体は不規則な球状。古くなると形が崩れたり、あいた所ができる。

細胞の大きさ 2.5~9.5 $\mu$ m



# ミクロキステイス属



*Microcystis aeruginosa*

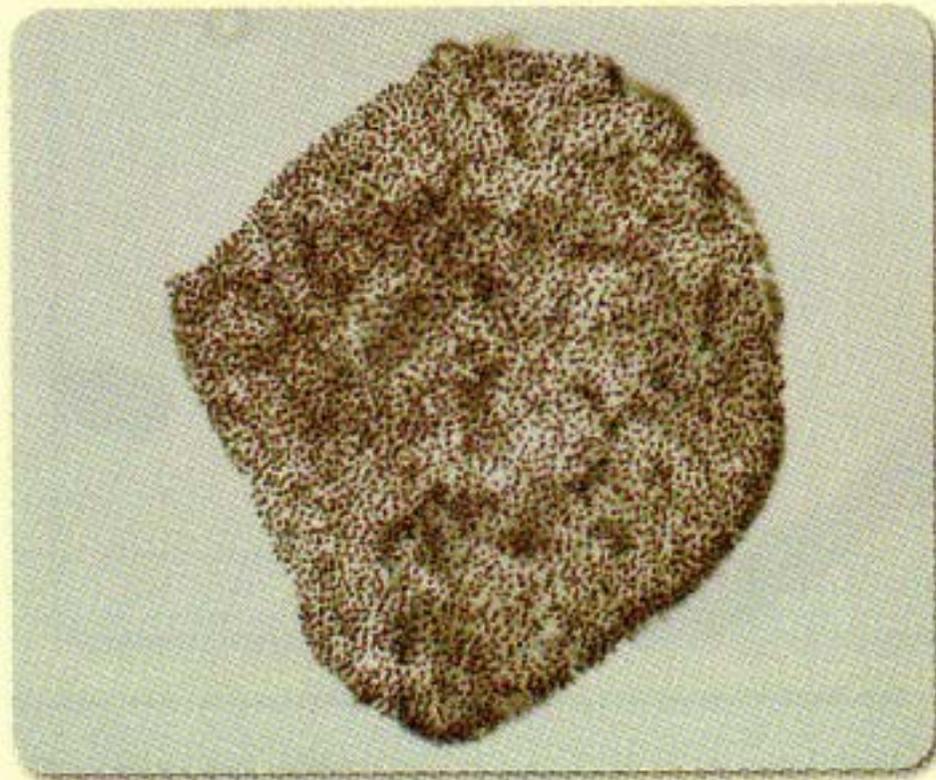
写真: 滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター

## ミクロキスティス イクチオブラーベ

*Microcystis ichthyoblabe*

群体はスポンジ状、細胞は互いに多少離れて並んでいる。

細胞の大きさ 2.5~5 $\mu$ m

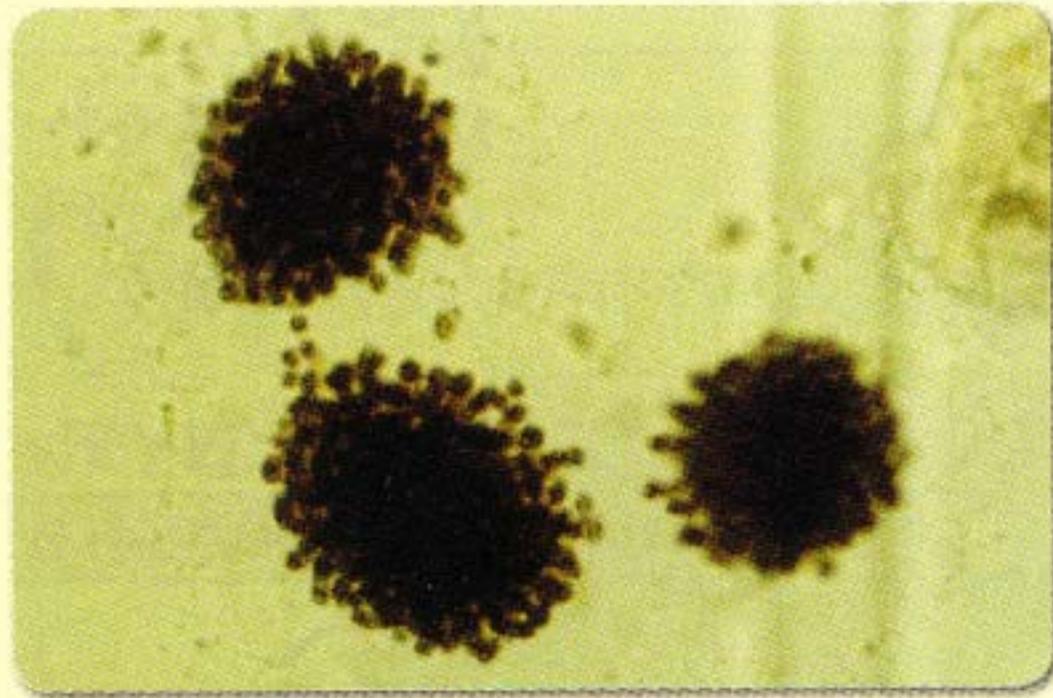


## ミクロキスティス ノバセッキ

*Microcystis novacekii*

群体は不規則な球状<sup>きゅうじょう</sup>、ときにはレンズ状につながり、群体同士が重なり合うことがある。

細胞の大きさ 2.5~9.5 $\mu\text{m}$

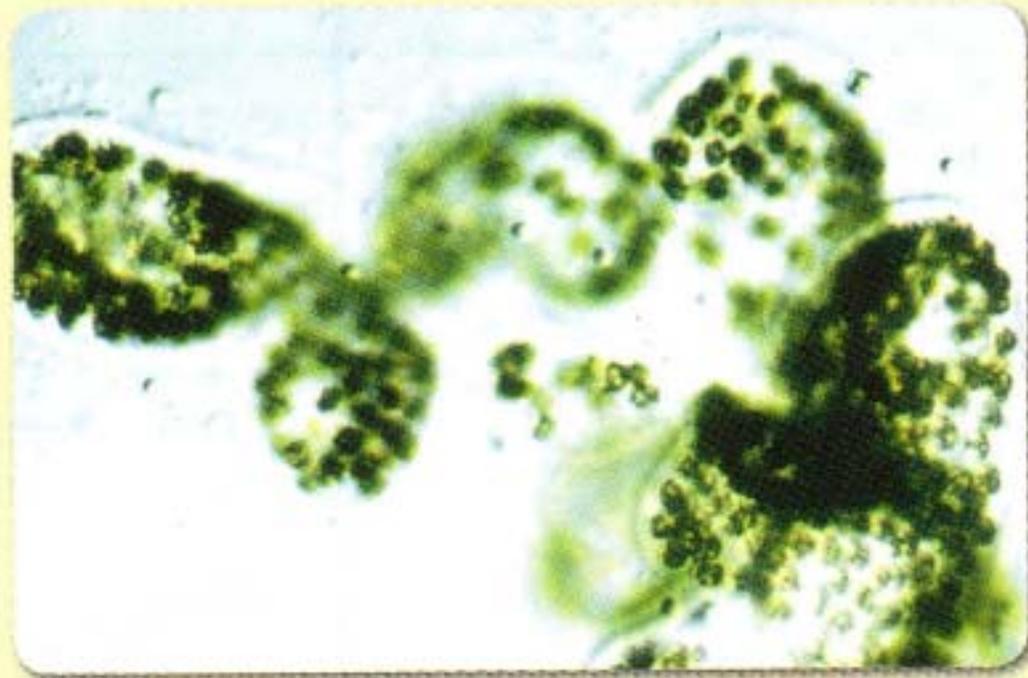


## ミクロキスティス ベーゼンベルギー

*Microcystis wesenbergii*

群体をつつむ<sup>かんてんしつじょう</sup>寒天質状の<sup>まく</sup>膜が顕微鏡下でハッキリ見える。

細胞の大きさ 4~9 $\mu\text{m}$



## ミクロキスティス ビリディス

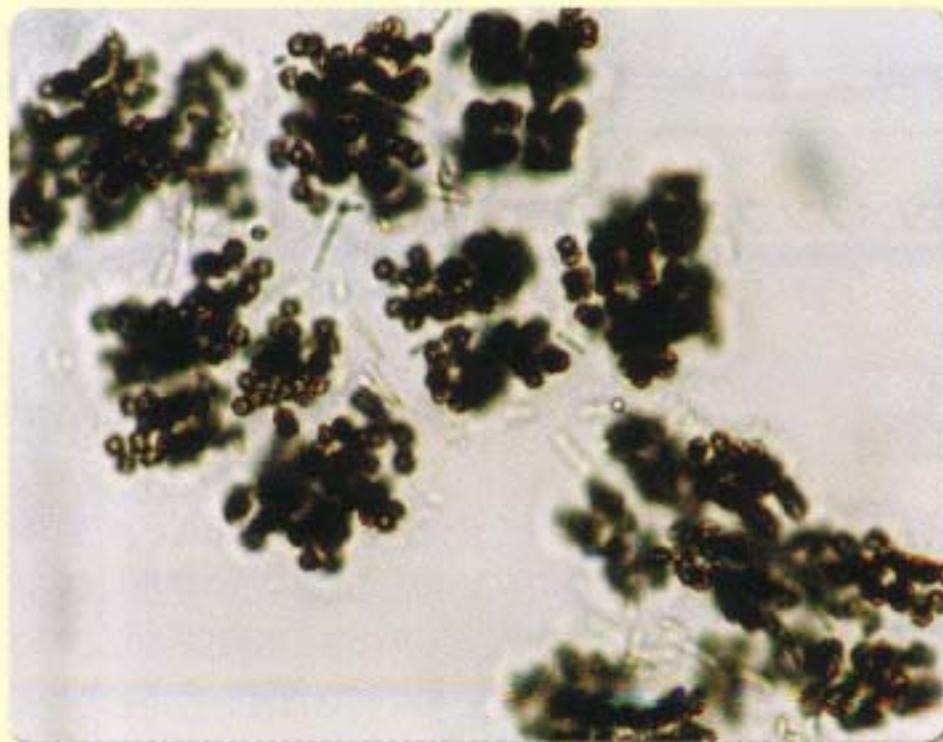
*Microcystis viridis*

りっぽうたいじょう

立方体状の群体をつくっている。それらが集まっ

て、大きな不定形の塊をつくることある。  
ひ ていけい かたまり

細胞の大きさ 4~7 $\mu$ m

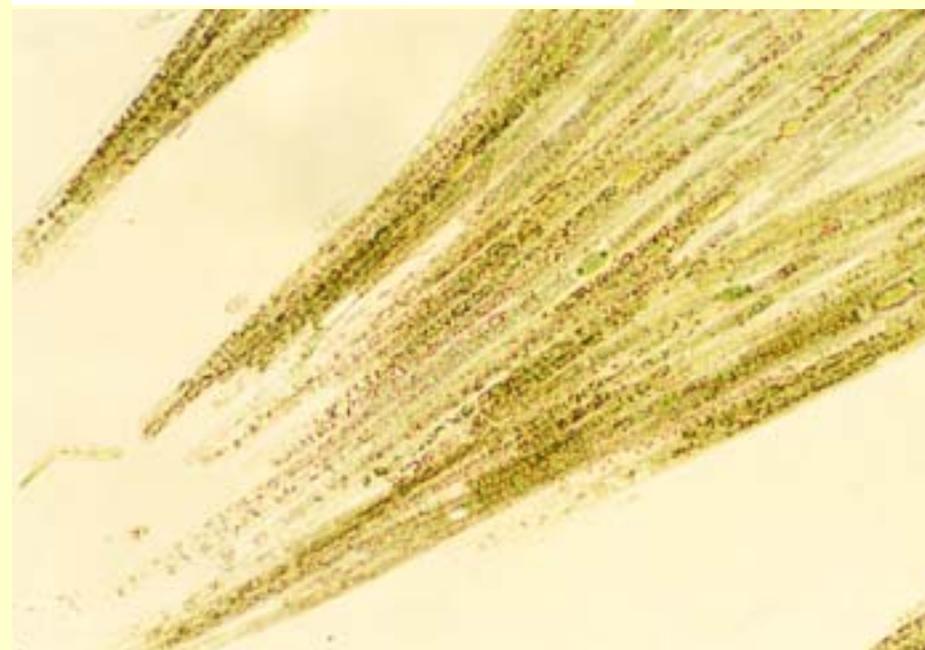
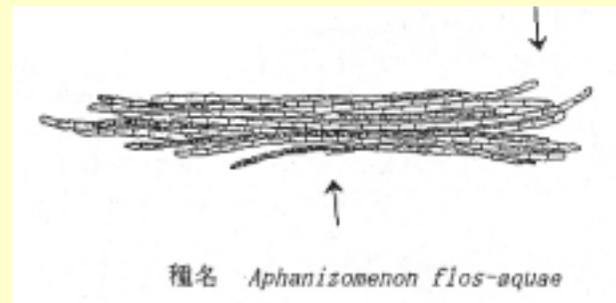


# 外来型アオコ種（冬季型）

琵琶湖では1999年秋  
季に糸状体が集まり、ア  
オコ現象を引き起こすプ  
ラクトンが観察される  
ようになった。

原因は *Aphanizomenon*  
*flos-aquae* であった。

*Aphanizomenon flos-aquae*



写真：滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター

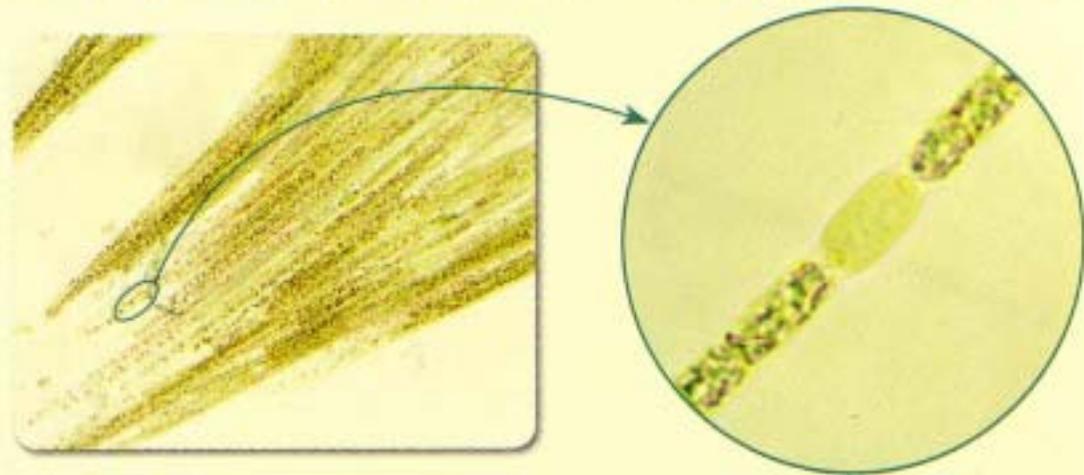
## アファニゾメノン フロスアクアエ

*Aphanizomenon flos-aquae*

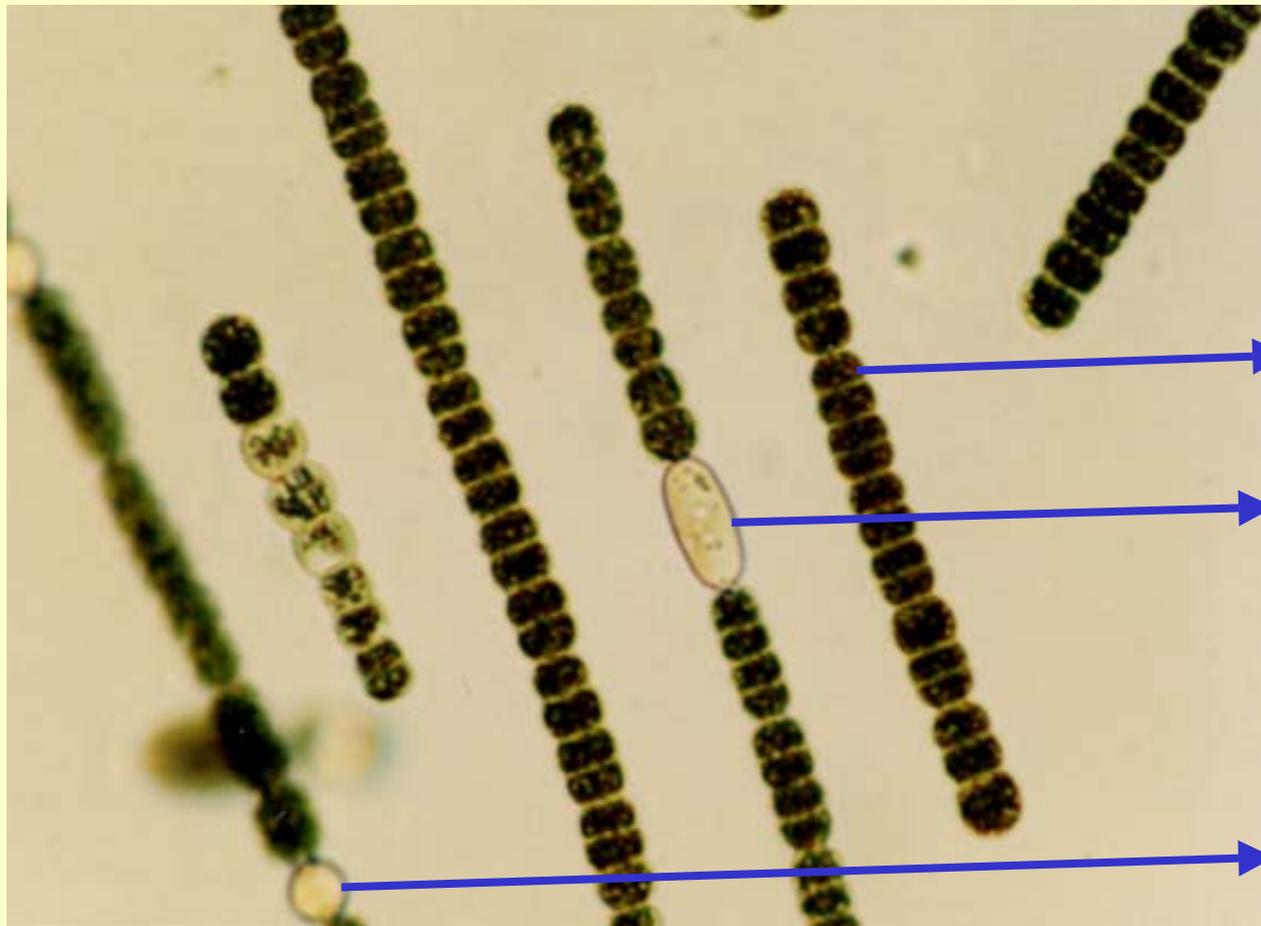
異質細胞は細胞より長く、円筒形である。

細胞の直径 4~6 $\mu\text{m}$

細胞の長さ 5~15 $\mu\text{m}$



# アナベナ属



トリコーム

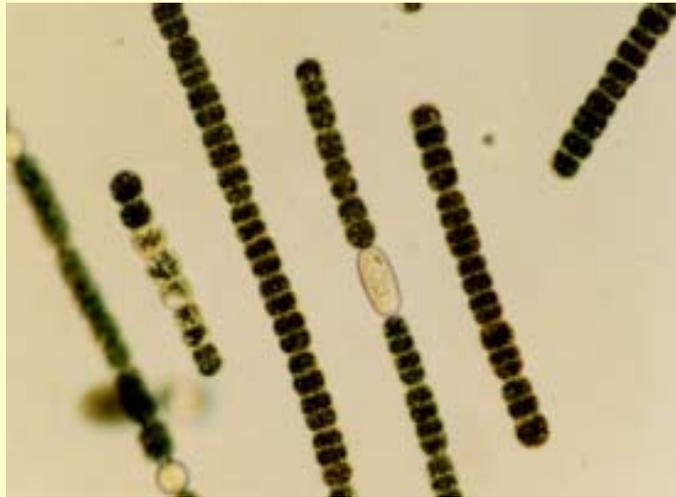
アキネート

ヘテロシスト

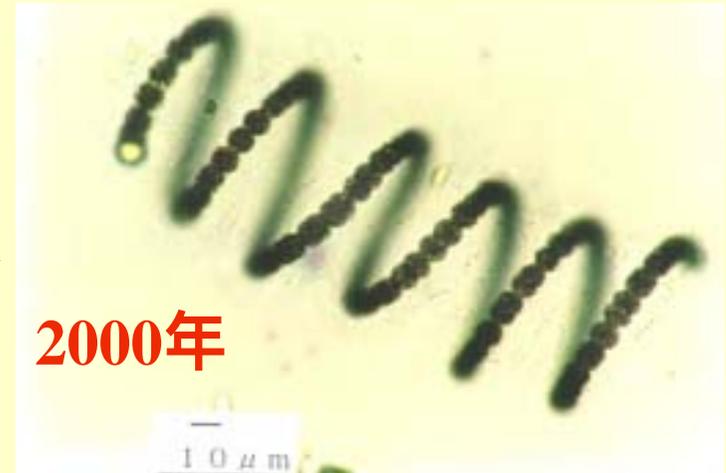
*Anabaena macrospora*

写真：滋賀県琵琶湖・環境科学研究セン

# アナベナ属 (1983:昭和58年)



*Anabaena macrospora*



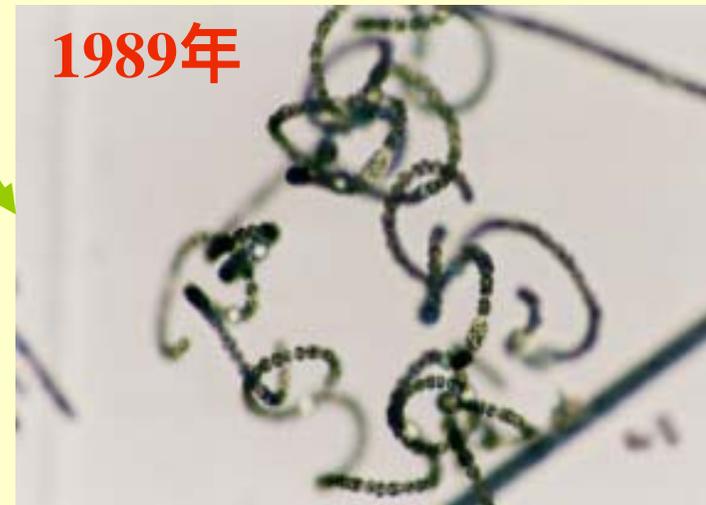
2000年

*Anabaena spiroides*



1986年

*Anabaena affinis*



1989年

*Anabaena flos-aquae*

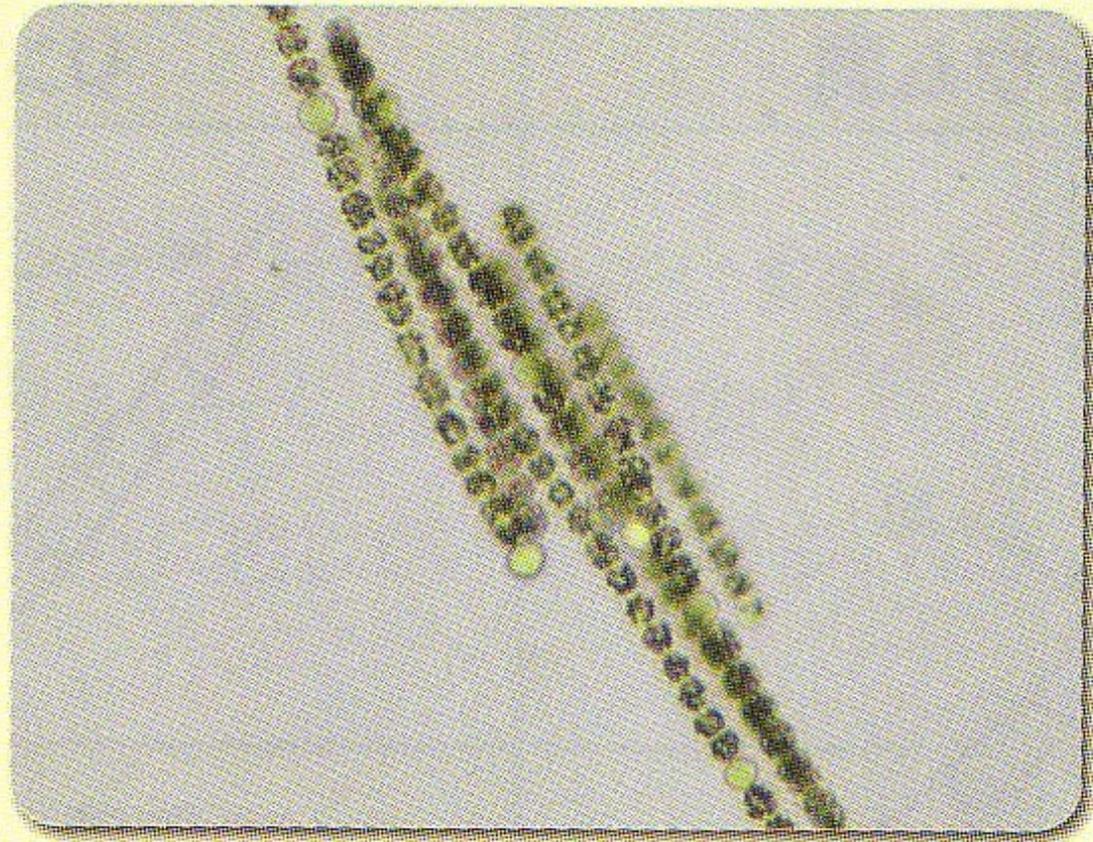
# アナベナ アフィニス

*Anabaena affinis*

糸状体は単独または束状たばじょうの群体をつくる。細胞は球形または短い樽形。

細胞の大きさ

5~7 $\mu\text{m}$



# アナベナ マクロスポーラ

*Anabaena macrospora*

糸状体どうしはくっつかず、まっすぐかわずかに<sup>わんきよく</sup>湾曲する。細胞は球形か樽形。

細胞の大きさ

5~14 $\mu\text{m}$



# アナベナ スピロイデス クラッサ

*Anabaena spiroides* var. *crassa*

糸状体は単独で、<sup>らせん状</sup>螺旋状にねじれる。細胞は球形。

細胞の大きさ

11~15 $\mu$ m



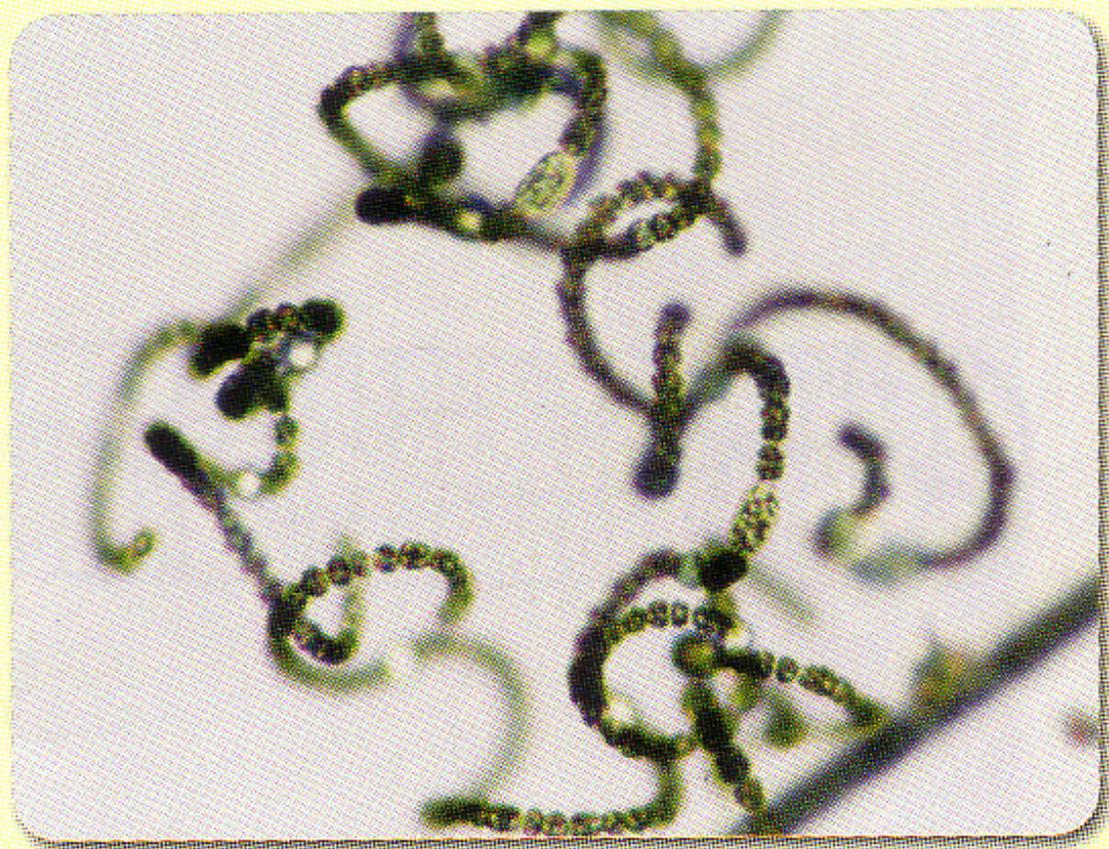
# アナベナ フロスアクアエ

*Anabaena flos-aquae*

糸状体は不規則に曲がってからみあっている。

細胞の直径 4~8 $\mu$ m

細胞の長さ 6~8 $\mu$ m



# トリコーム(日本のアオコ: 渡辺眞之著より)

種類	トリコーム長さ	トリコーム直径
<i>Anabaena affinis</i>	5 ~ 8 $\mu\text{m}$	5 ~ 8 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena macrospora</i>	5 ~ 10 $\mu\text{m}$	3.5 ~ 10 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena flos-aquae</i>	5 ~ 7 $\mu\text{m}$	5 ~ 7 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena spiroides var. crassa</i>	8 ~ 10.5 $\mu\text{m}$	5 ~ 9 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena spiroides</i>	4.9 ~ 6.3 $\mu\text{m}$	3 ~ 7.6 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena oumiana</i>	6 ~ 7.1 $\mu\text{m}$	3 ~ 6.5 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena ucrainica</i>	7 ~ 11 $\mu\text{m}$	3.5 ~ 9.9 $\mu\text{m}$

# アキネート(日本のアオコ: 渡辺眞之著より)

種類	アキネート 直径	アキネート 長さ
<i>Anabaena affinis</i>	9.5 ~ 13 $\mu\text{m}$	15 ~ 27 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena macrospora</i>	14.8 ~ 19.5 $\mu\text{m}$	21 ~ 31 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena flos-aquae</i>	8 ~ 13 $\mu\text{m}$	15 ~ 30 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena spiroides var. crassa</i>	13.5 ~ 15.8 $\mu\text{m}$	16 ~ 19 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena spiroides</i>	9.1 ~ 10.1 $\mu\text{m}$	21 ~ 24 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena oumiana</i>	10 ~ 12 $\mu\text{m}$	10 ~ 12 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena ucrainica</i>	13 ~ 23 $\mu\text{m}$	14 ~ 19 $\mu\text{m}$

# ヘテロシスト(日本のアオコ: 渡辺眞之著より)

種類	ヘテロシスト直径	ヘテロシスト長さ
<i>Anabaena affinis</i>	6.7 ~ 10 $\mu\text{m}$	6.7 ~ 10 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena macrospora</i>	7 ~ 9 $\mu\text{m}$	7 ~ 9 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena flos-aquae</i>	7 ~ 9 $\mu\text{m}$	7 ~ 9 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena spiroides var. crassa</i>	9 ~ 9.3 $\mu\text{m}$	9 ~ 9.3 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena spiroides</i>	6.3 ~ 7.1 $\mu\text{m}$	6.3 ~ 7.1 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena oumiana</i>	6.8 ~ 8.5 $\mu\text{m}$	6.4 ~ 8 $\mu\text{m}$
<i>Anabaena ucrainica</i>	9 ~ 13 $\mu\text{m}$	7 ~ 11 $\mu\text{m}$

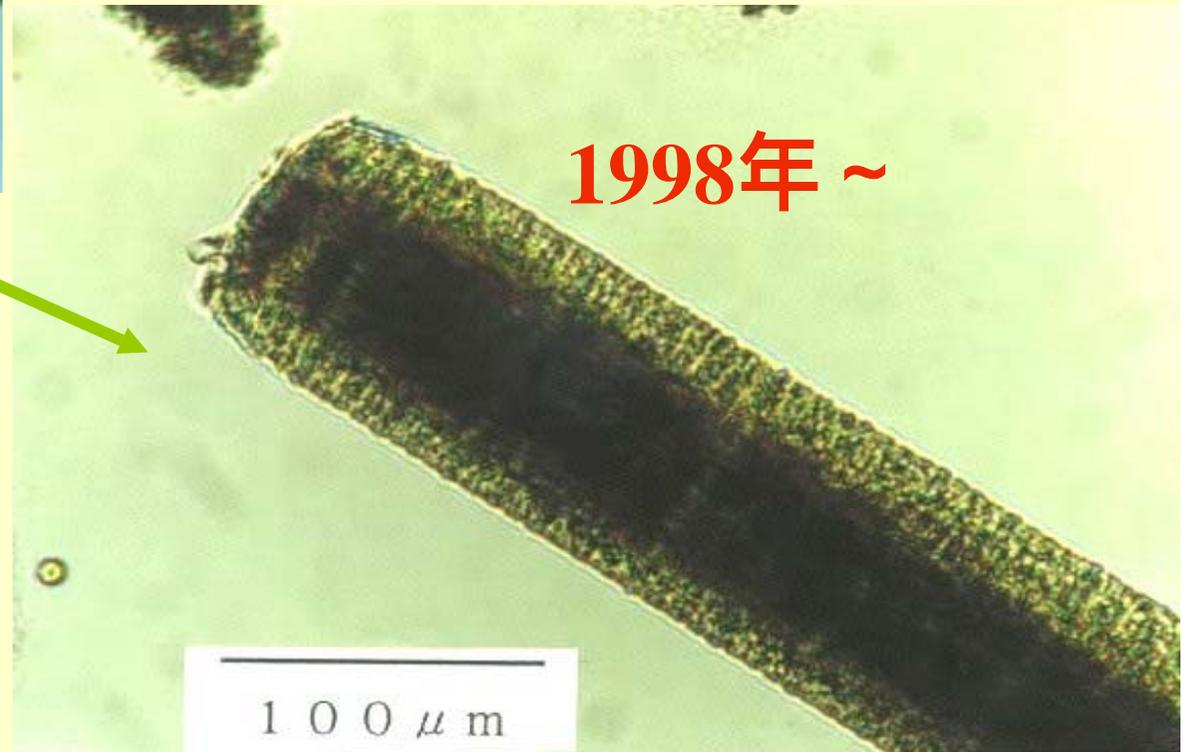
# オシラトリア属 (プランクトトリックス属)



*Oscillatoria tenuis*

カビ臭オシラトリア  
1985年～

## 超大型オシラトリア



*Oscillatoria kawamurae*

# オシラトリア属 (プランクトトリックス属)



*Oscillatoria tenuis*

*Oscillatoria*属の中で、細胞にガス胞を持ち、単独で浮遊生活をする*Oscillatoria*の種類をまとめてPlanktothrixとされるようになった。

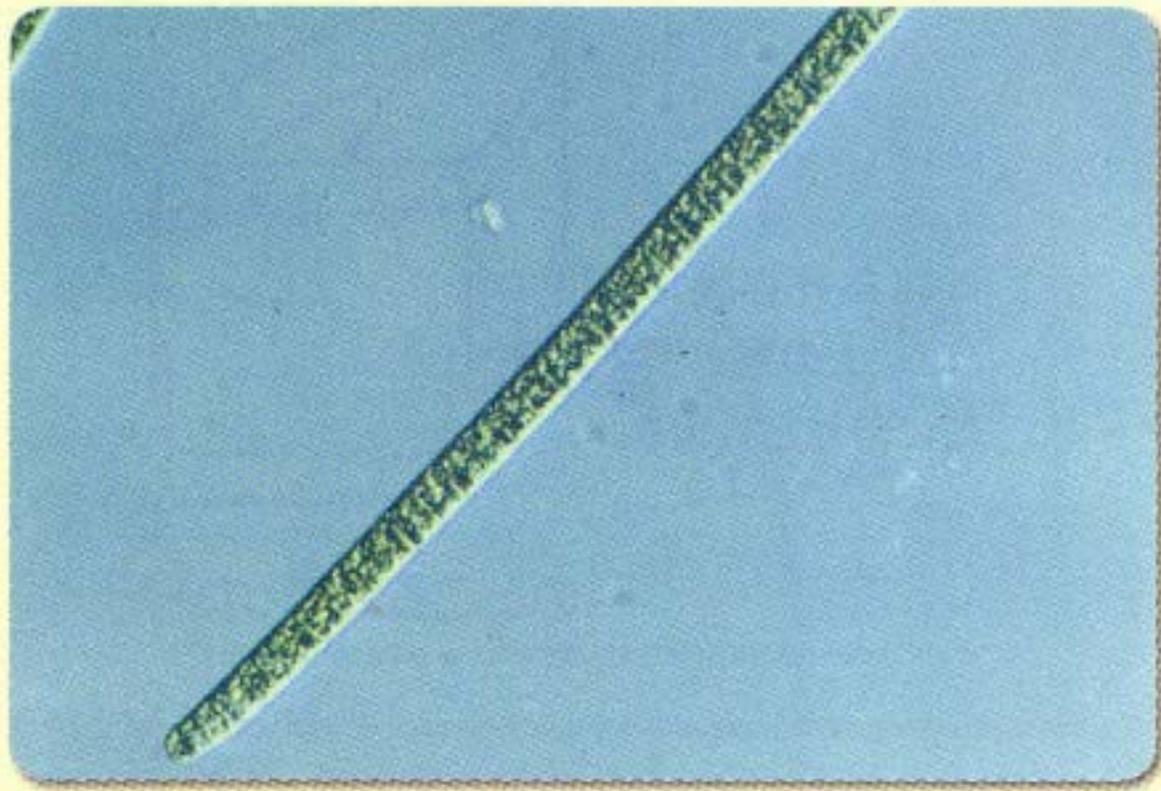
カビ臭オシラトリア  
ア (プランクトトリックス  
属)

## オシラトリア テヌイス

*Oscillatoria tenuis*

まっすぐで、先端がわずかに曲がっていることが多い。

細胞の直径 4~10 $\mu$ m

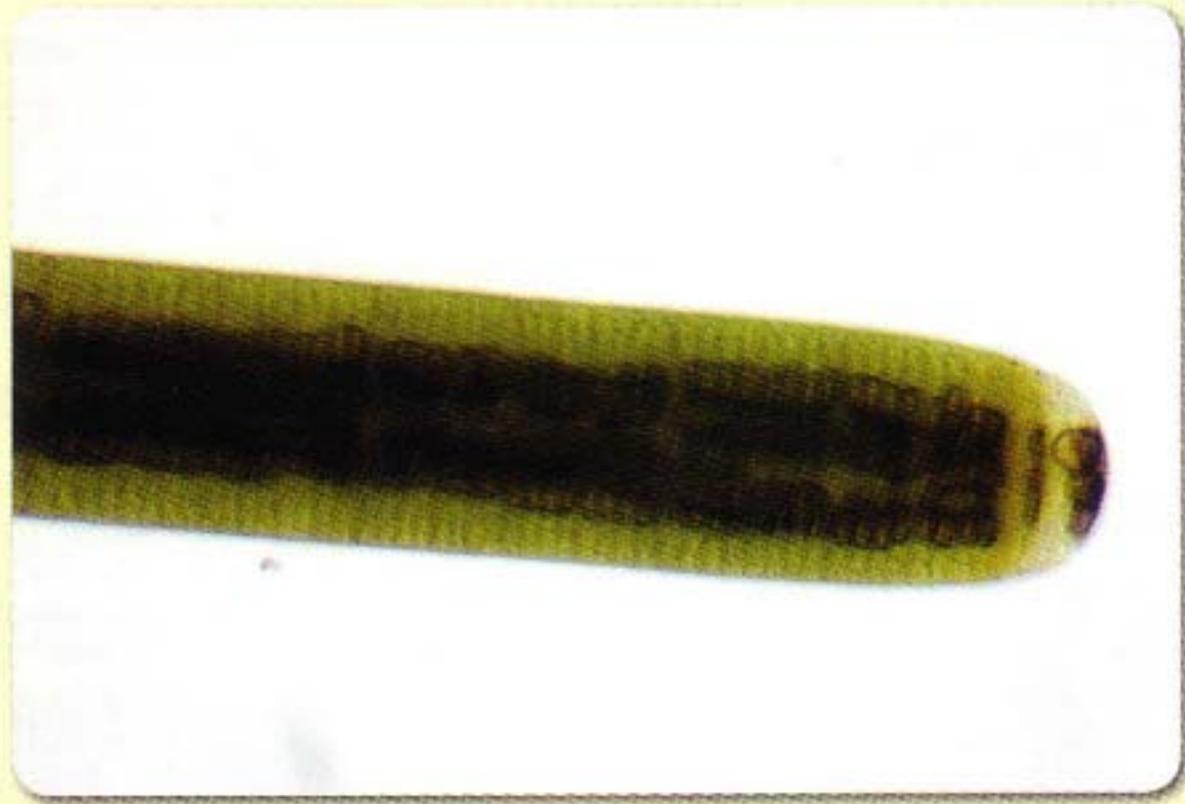


## オシラトリア カワムラエ

*Oscillatoria kawamurae*

非常に大きく、細胞は円盤状<sup>えんばんじょう</sup>である。

細胞の直径 56~78 $\mu$ m



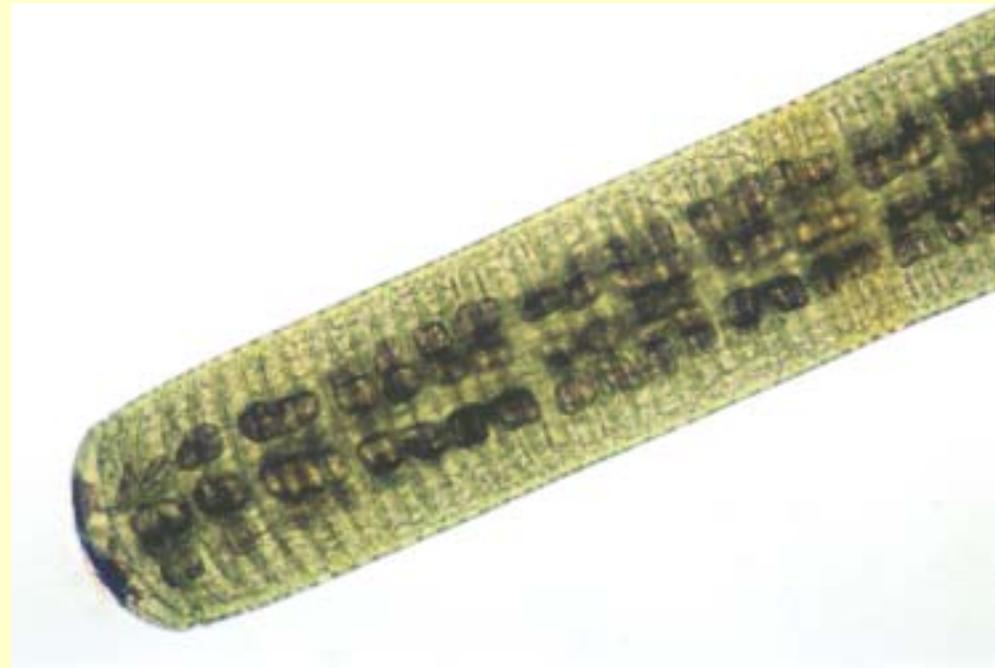
# 琵琶湖生態系の異常事例

## 新型アオコ種（オッシラトリア）

### 新型アオコプランクトン

1998年夏季～秋季にアオコ検体中に肉眼でも観察できる超大型藍藻が出現した。この原因種は *Oscillatoria kawamurae* であった。本種は薄い円盤形の細胞が重なり合っ  
て1列に並び、紐のような長い群体を形成する。また、細胞内に数個のガス胞を有するため湖面に浮上し、アオコ現象を引き起こす。

近年、南湖で発生するアオコの主体となっている。



3

プランクトン採水法  
簡易計数法

# プランクトン採水方法

- 植物プランクトンは湖水を直接採水



- 動物プランクトンはプランクトンネットNXXX25 (40  $\mu\text{m}$ )の細かい目のものを使用し一定量ろ過する。



手作りプランクトンネットNXXX25 (40  $\mu\text{m}$ メッシュ)

# 検鏡の方法

- 光学顕微鏡で原因プランクトンの存在を確認
- 落射蛍光顕微鏡で、動物性か植物性かを判断（クロロフィル色素：光合成の有無）
- 微分干渉顕微鏡で鞭毛、繊毛の有無の確認
- プランクトン計数板にて簡易計数
- 検体固定  
（グルタルアルデヒド1% + ホルマリン0.1%）
- 通常の計数方法で計数、集計、報告書作成

# アオコ計数方法(琵琶湖産2002年)

	種類	計数の単位	平均細胞数
1	<i>Microcystis aeruginosa</i> マイクロキスティス エルギノーサ	直径100 $\mu$ m の球を1単位とする	500
2	<i>Microcystis wesenbergii</i> マイクロキスティス ベーゼンベルギー	直径100 $\mu$ m の球を1単位とする	200
3	<i>Microcystis viridis</i> マイクロキスティス ブリジス	直径100 $\mu$ m の球を1単位とする	200
4	<i>Microcystis novacekii</i> マイクロキスティス ノバッセキ	直径100 $\mu$ m の球を1単位とする	200
5	<i>Microcystis icthyoblabe</i> マイクロキスティス イクチオブラベ	直径100 $\mu$ m の球を1単位とする	1000
6	<i>Anabaena macrospora</i> var. <i>crassa</i> アナベナ マクロスポラ変種クラッサ	長さ500 $\mu$ m を1単位とする	20
7	<i>Anabaena spiroides</i> var. <i>crassa</i> アナベナ スピロイデス変種クラッサ	1巻きを1単位とする	10
7	<i>Anabaena spiroides</i> アナベナ スピロイデス	1巻きを1単位とする	8
8	<i>Anabaena flos-aquae</i> アナベナ フロスアクア	1巻きを1単位とする	20
9	<i>Anabaena affinis</i> アナベナ アフィニス	長さ200 $\mu$ m を1単位とする	20
10	<i>Oscillatoria tenuis</i> オッシラトリア テネイス	長さ500 $\mu$ m を1単位とする	100
11	<i>Oscillatoria kawamurae</i> オッシラトリア カワムラエ	長さ1mm (1000 $\mu$ m) を1単位とする	200

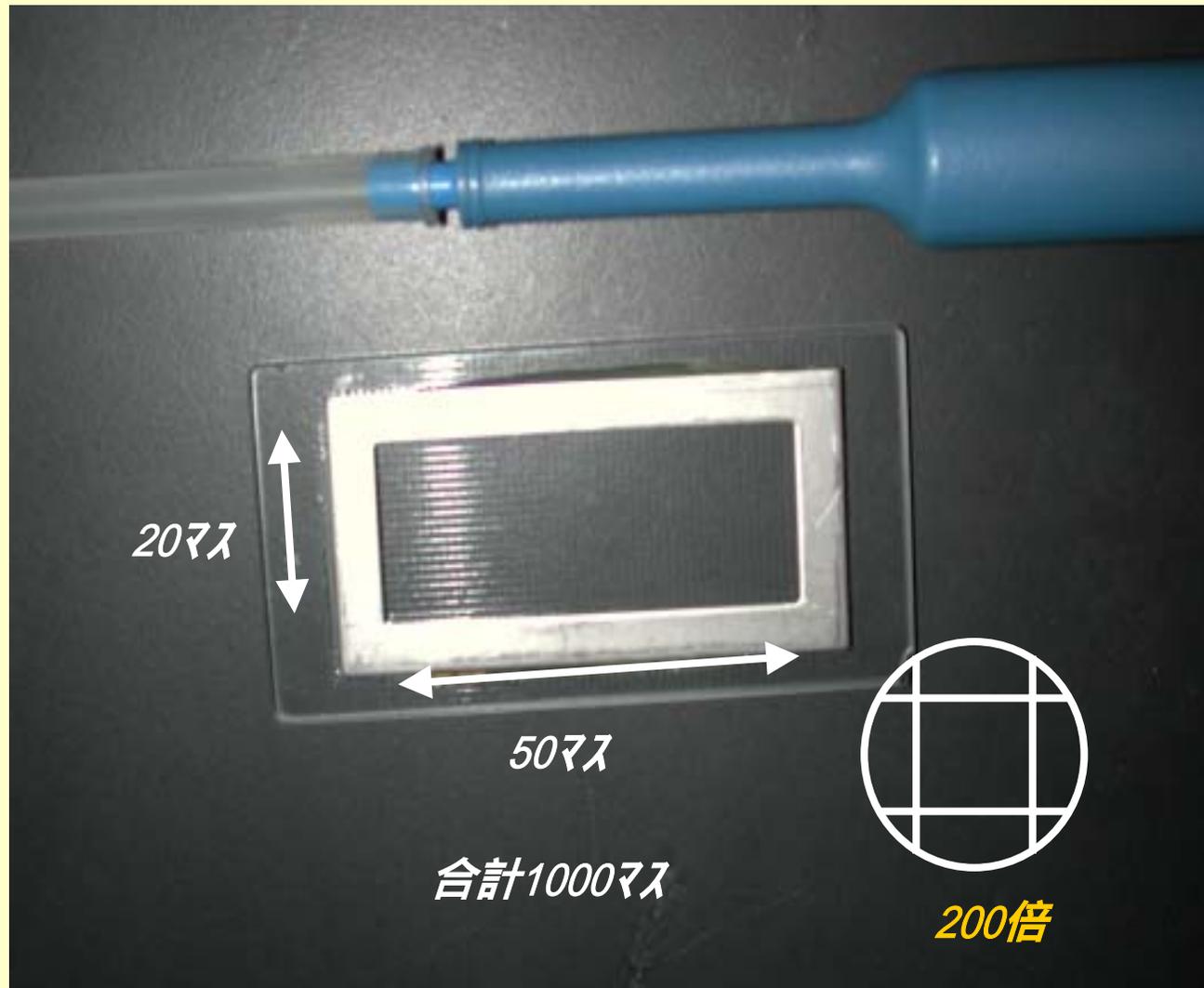
# 界線枠付きプランクトン計数板 (離合社)



1

サンプルスライド回覧

# プランクトン計数板にて簡易計法



# 計数板による簡易計法

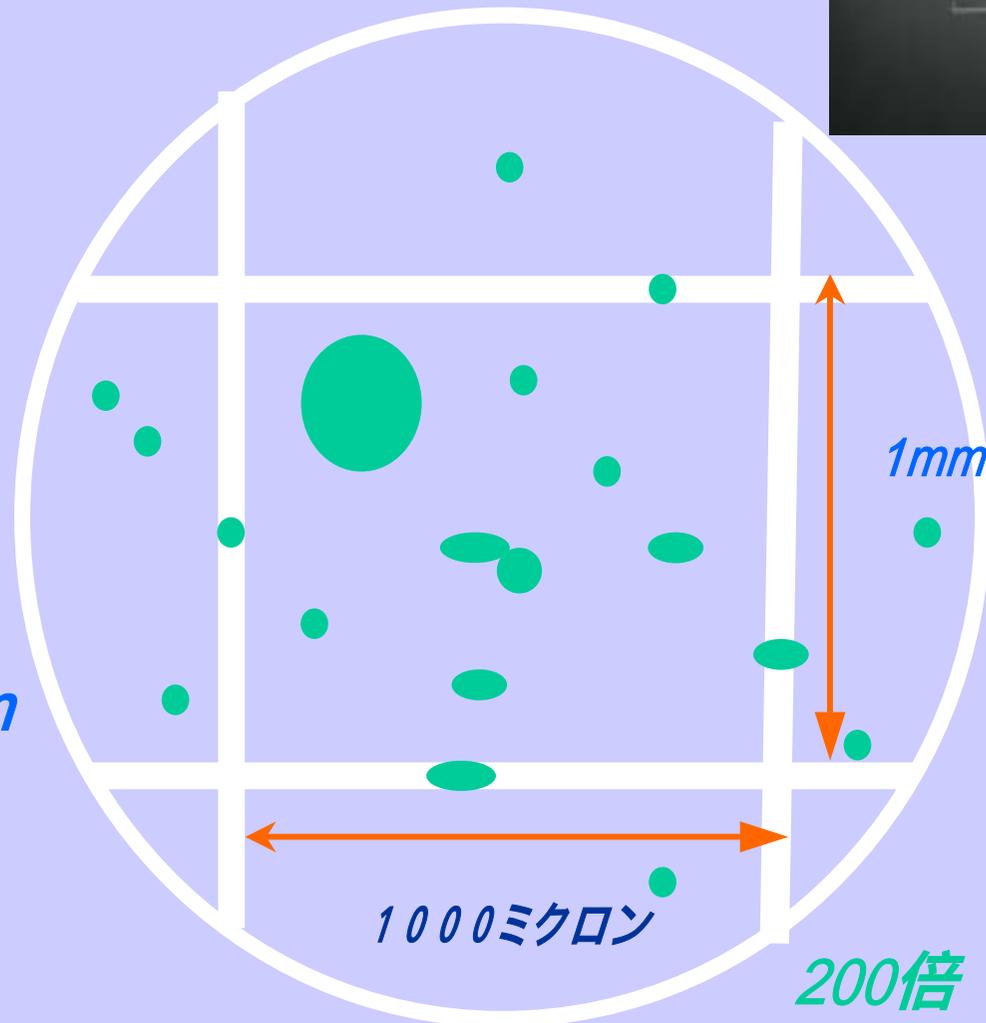
検水: 1 ml

マス: 1mm × 1mm  
mm × 1mm

幅20マス: 2 cm

長さ50マス: 5 cm

合計1000マス



# 標準プランクトン計数板 (マツナミ硝子)

正方形枠内の容量: 0.1ml  
全マス計数1細胞平均で10細胞 / ml



0.1ml 答: 4,000  
細胞/ml

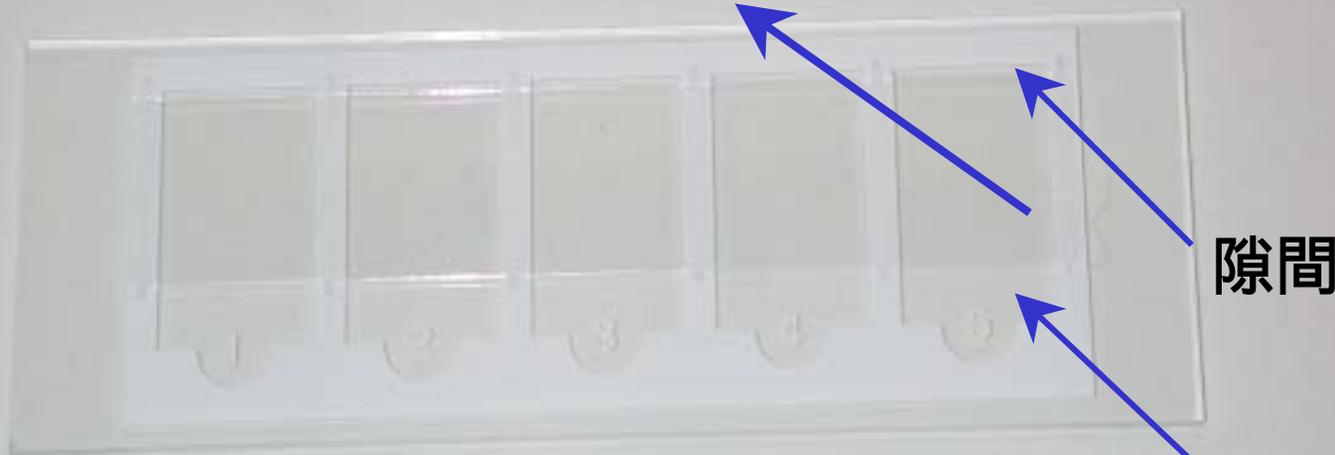
20 × 20マス = 400マス

1マス1細胞平均で何細胞 / ml でしょう?

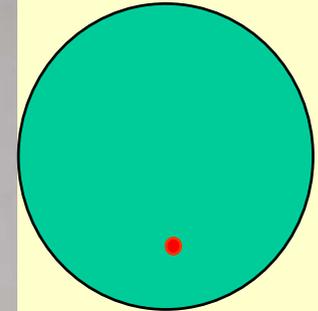
サンプルスライド回覧

# ピコプランクトン用計数板 (セキスイ検鏡プレート)

0.01 ml × 5 枠 200倍  
顕微鏡1窓1細胞平均で36,000細胞/ml  
毛細管現象で均一にする。



スライドグラスにカバーグラスを  
貼り付け、厚さ70 μmに固定して  
ある。



1視野の面積 × 厚さ = 体積

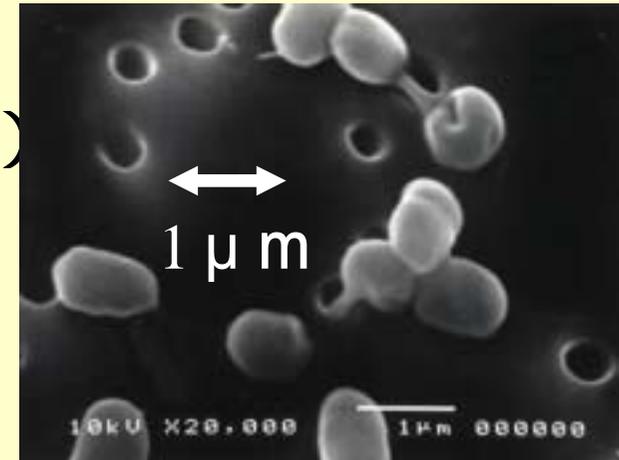
1 ml 体積 / 1視野の体積

サンプルスライド配布

# 琵琶湖生態系の異常事例

超微小プランクトン（ピコプランクトン）

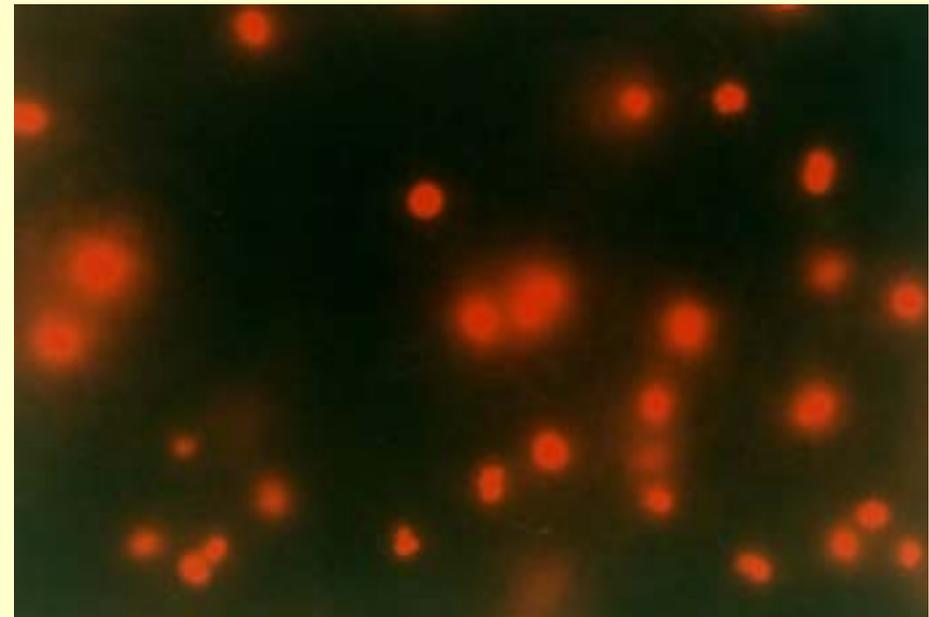
最小のプランクトン



1989年7月に北湖一円で湖水が黒色化し、超微小プランクトンであるピコプランクトンが大発生し、透明度は約2.5mまで低下していた。

本種は1 μm程度と微細なプランクトンで通常の光学顕微鏡下ではほとんど観察できない。

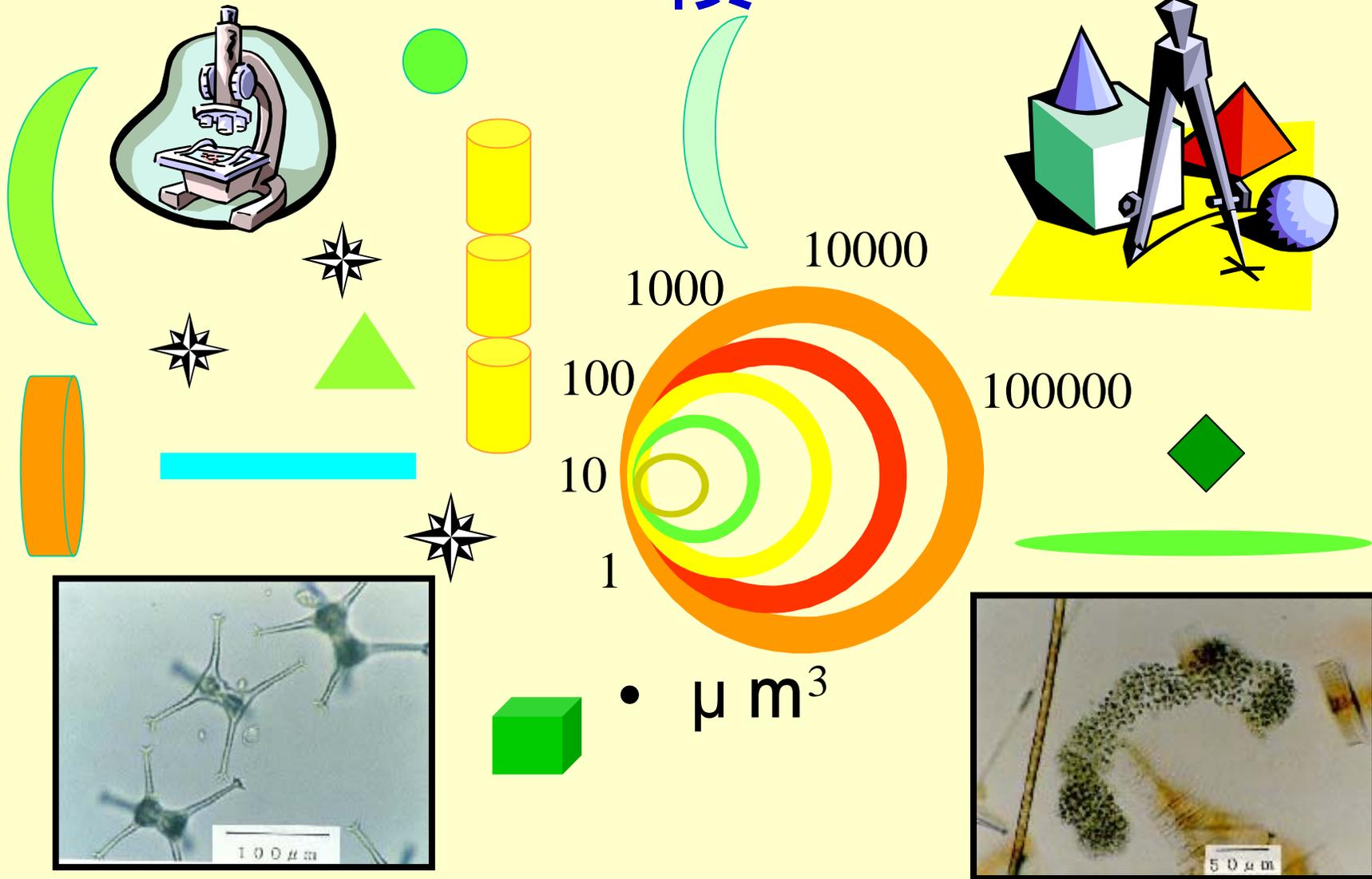
落斜蛍光顕微鏡によって観察できる。異常発生当時は1 mlあたり最高100万細胞以上のピコプランクトンが計数された。



クラゲとピコとの体積の差は数万倍

# 琵琶湖のプランクトン細胞容積

積



# タイプ別細胞容積 ( V ) を求める計算式

- Aタイプ

- 円筒形 (cylinder) , 楕円柱 (elliptic cylinder)

- 細胞容積 ( V ) =  $\frac{\pi}{4} a b h$

- a : 長軸
- b : 短軸
- h : 高さ



- Bタイプ

- 球体 (sphere) , 楕円体 (ellipsoid)

- 細胞容積 ( V ) =  $\frac{4}{6} a b^2$

- a : 長軸
- b : 短軸

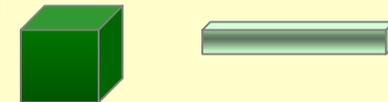


- Cタイプ

- 立方体 (cube) , 直方体 (rectangular parallelepiped)

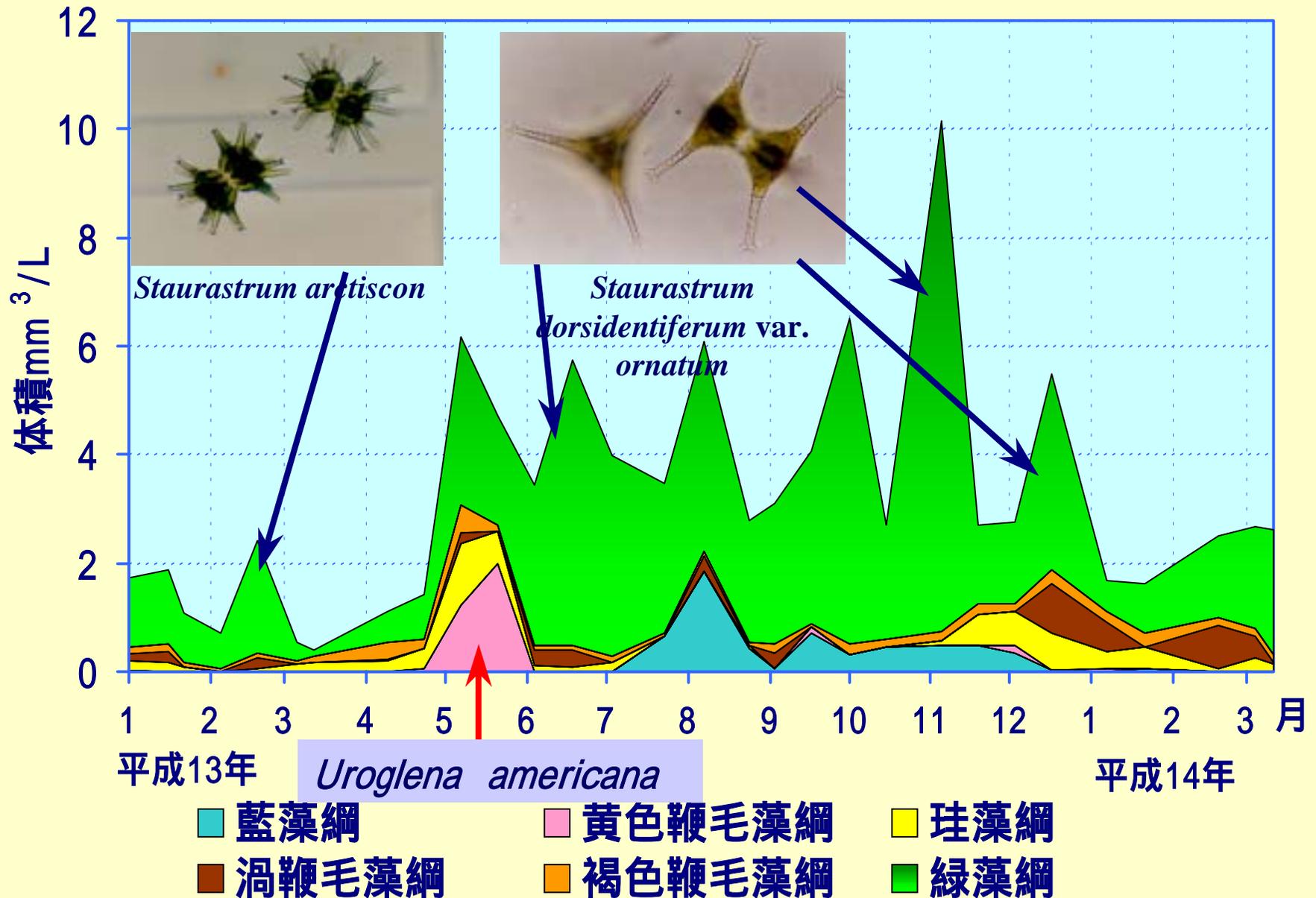
- 細胞容積 ( V ) = a b h

- a : 長さ
- b : 幅
- h : 高さ



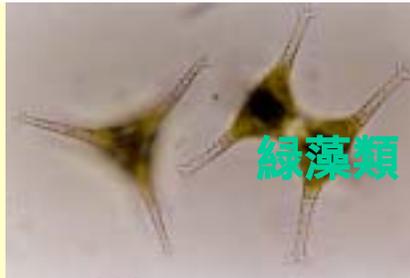
植物性 600 種の  
細胞容積を算出

# 植物プランクトン組成の変遷 (平成13年1月から平成14年3月)



# 植物プランクトン組成の変遷

(体積換算, H15 今津沖中央 表層)



緑藻類



珪藻類

*Asterionella formosa*

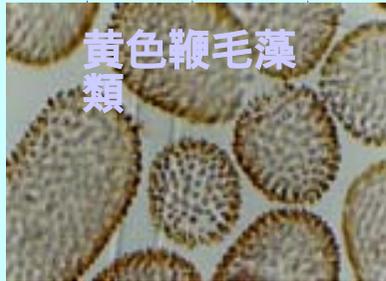


*Stephanodiscus carconensis*



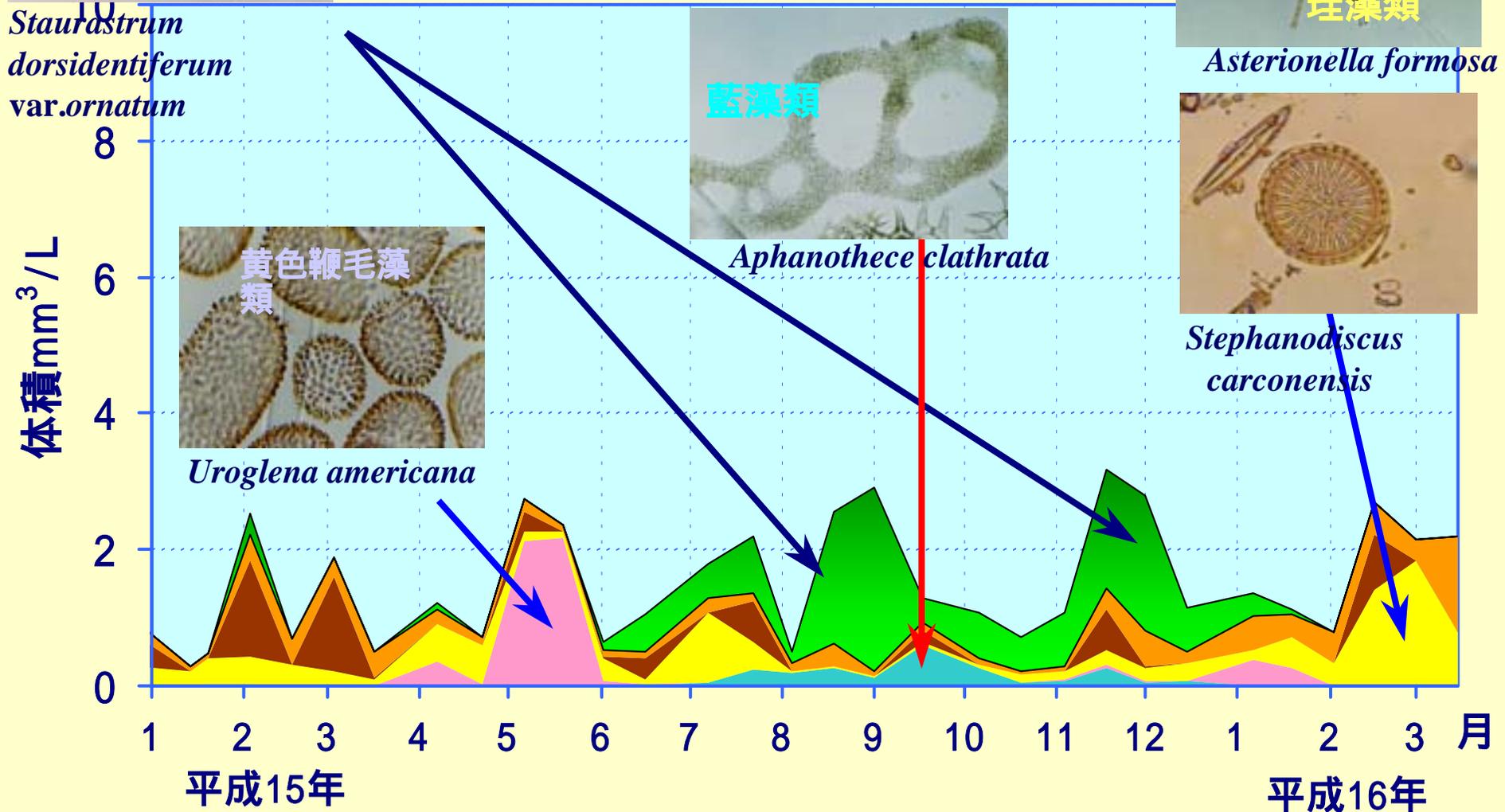
藍藻類

*Aphanothece clathrata*



黄色鞭毛藻類

*Uroglena americana*

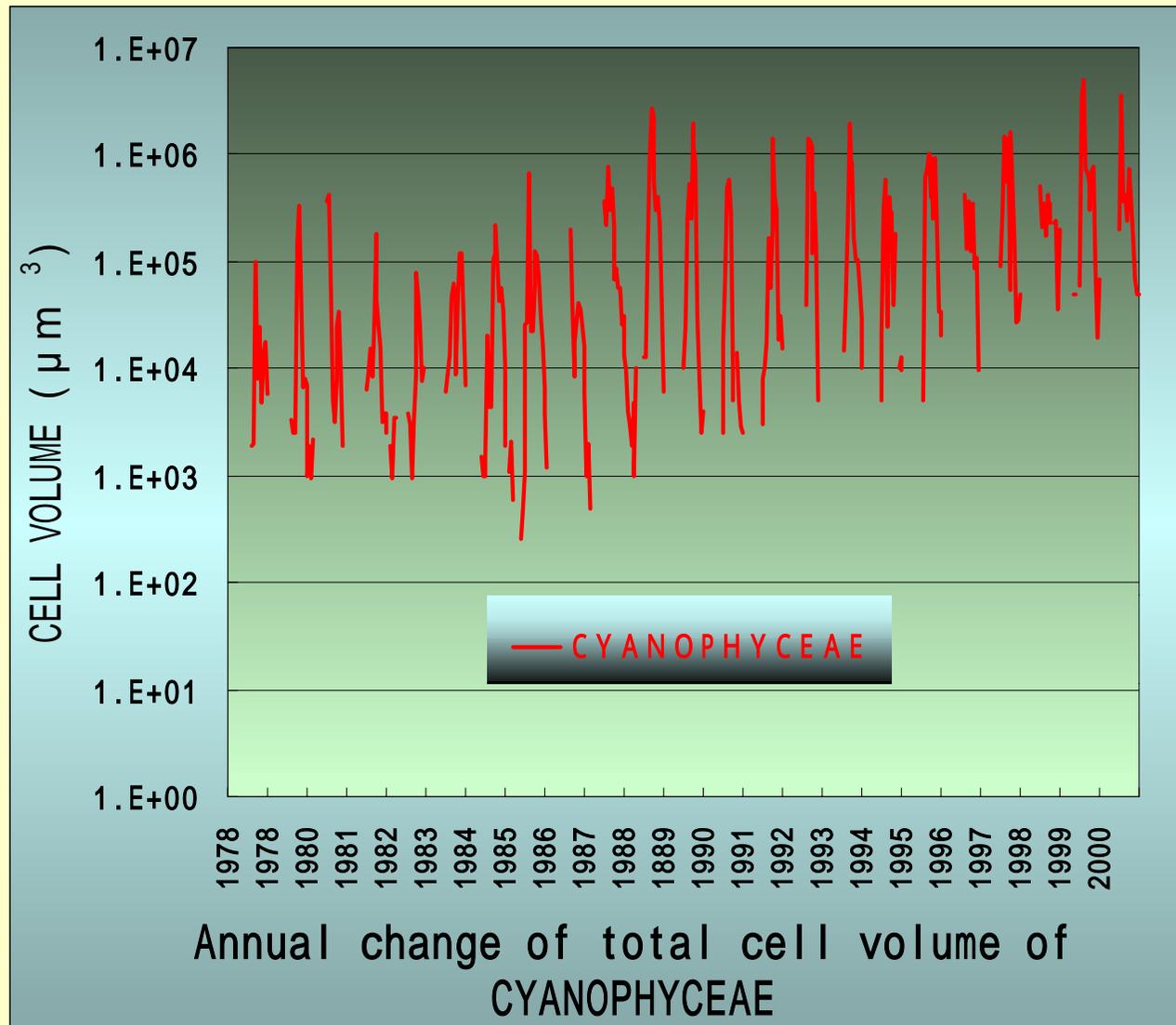


- 藍藻網
- 黄色鞭毛藻網
- 珪藻網
- 渦鞭毛藻網
- 褐色鞭毛藻網
- 緑藻網

データ: 滋賀県琵琶湖・環境科学研究セン

# 藍藻類の経年変化

Annual change of total cell volume of CYANOPHYCEAE



# なるほど！環境セミナー

琵琶湖のアオコの  
生サンプルを用いた  
同定実習の開始



デジカメでプランクトン  
写真を撮ろう。

デジカメのモード設定  
で、発行禁止モードにし、  
ズーム拡大し、カメラ表  
示部でピントを合わせ、  
ぶれないようにゆっくり  
シャッターを切ってください。

子供たちでも簡単にプラ  
ンクトン写真が撮れます  
よ！

筒井・井田担当



# アオコが及ぼす生態系への影響

- 水辺の景観悪化
- 光阻害による植物プランクトン量の減少
- プランクトン多様性が減少
- 食物連鎖による毒性の心配
- 水草の減少(透明度の低下)
- 酸素欠乏による魚類への影響
- 泥質化の促進

# アオコに関する自治体の対応 (先手必勝)

- 通報:アオコの発生
- アオコの観察・計数
- 住民の不安感を取り除く  
原因不明の状態が不安感を拡大する  
現状について正しく説明
- 調査は5W1Hを迅速にまとめる
- 画像的証拠を残していく:現場、種類

# 滋賀県での対応事例

- 事前会議・情報窓口の統一
- 発生情報収集 発生情報 確認調査
- プラクトン等計数・データ整理
- 情報窓口にて計数結果の報告
- プレス資料として記者クラブに資料提供
- 関係機関に発生情報をファックス等

# アオコと水草繁茂の関係

- 近年、水草繁茂によって入り江の棧橋付近が閉鎖性水域が形成され、湾内水が滞留し、アオコ形成種やカビ臭生成種が局所的に大量発生する現象が明らかとなった。
- 今後の対策のため、底泥調査や閉鎖性水域を形成している水草帯の刈り取りや河川の流入負荷削減対策を考えていく必要性が示唆された。

# アオコ対策 1

- **アオコ回収**  
アオコが発生した場合、専用船で湖面に浮遊するアオコの除去、回収。  
霞ヶ浦では以前、アオコを水面清掃船で採取し、リン・窒素を多量に含むアオコを回収して肥料化。
- **底泥の浚渫**  
湖底の底泥より溶出するチッ素、リンを除去するため底泥を浚渫。浚渫された底泥は、公園等の造成用の盛り土に活用。

## アオコ対策 2

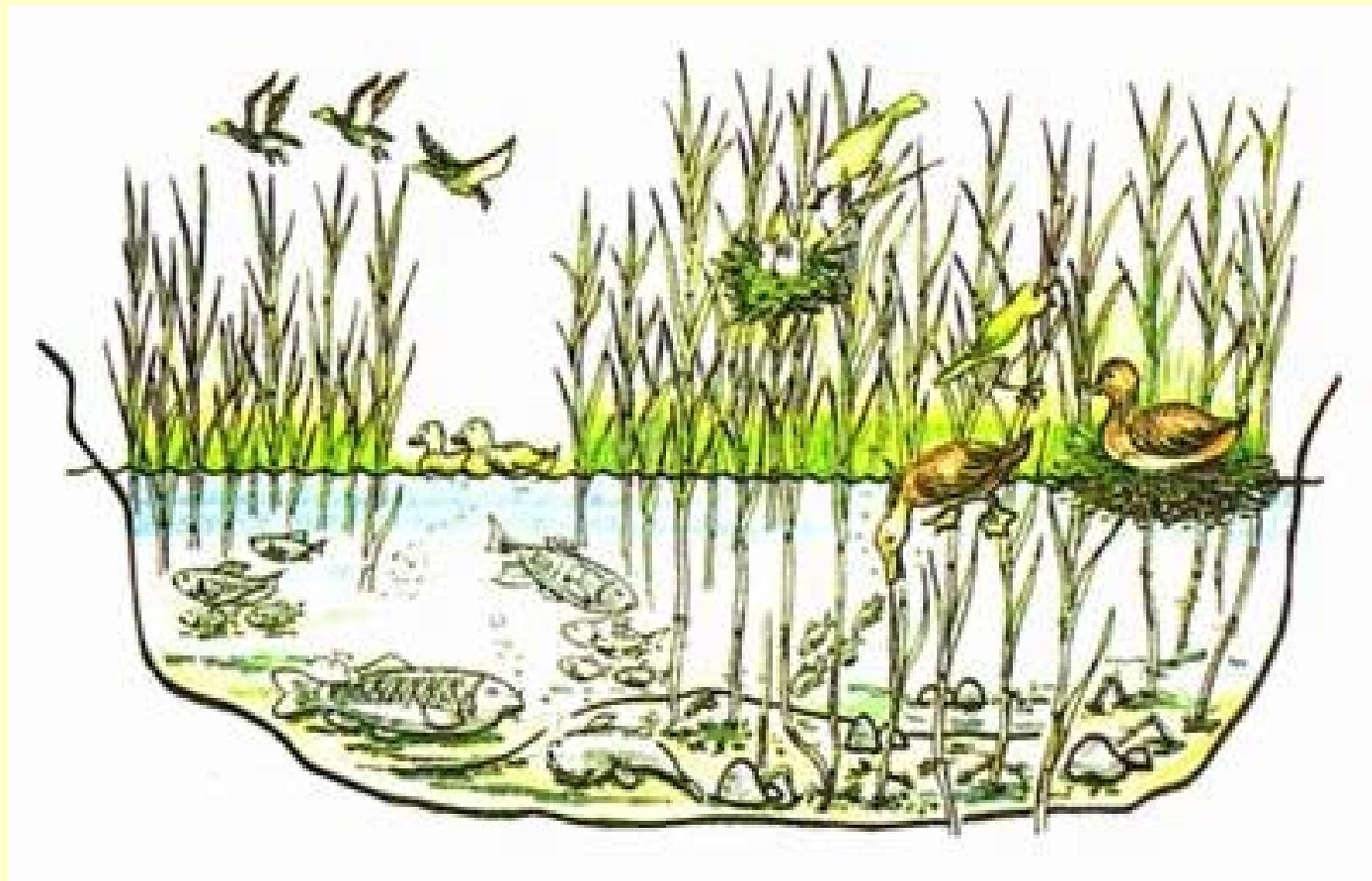
- ヨシ原の復活  
ヨシ原はリンや窒素を栄養分として根や茎で吸収するとともに、サギやカイツブリ等の水鳥の休息の場、魚の産卵場や孵化した幼魚の生息場。また、波をやわらげ、直接護岸にぶつかるのを防ぐ役割もある。
- ビオパーク造成  
水耕生物濾過という自然のエコシステムで水質の浄化をはかる。水生植物を栽培することで、アオコ原因プランクトンの栄養源を取り除く。

## アオコ対策 3

- **流入負荷削減**  
アオコが増加出来ない水質改善のため、汚濁物質排出の発生源を取り除くとともに、湖に流入してくる河川水に含まれる汚濁物質を取り除く対策が必要。
- **オゾン処理**  
オゾン酸化による処理、紫外線によるアオコや細菌の遺伝子を死滅させるという特性がある。限られた水域の水質浄化を図る事が可能。

# 今後の課題

- 先手必勝で現状の把握
- 定期パトロールによる予報・速報の強化
- 大学等とのパイプ拡大
- 毒性調査と影響の追求
- アオコの判断基準の明確化
- 水辺環境の保全(環境教育)



ありがとうございました。