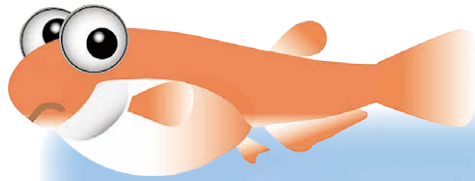
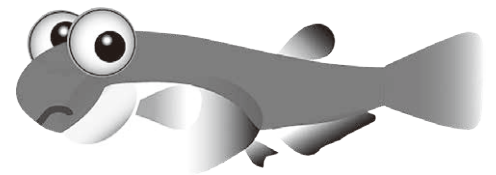


# 印旛沼

《第41号》



(佐倉ふるさと広場と観光船)



- 印旛沼流域のメダカの起源 …………… 尾田 正二 (p.2-5)
- 印旛沼の植物プランクトン …………… 半野 勝正 (p.6-7)

# 印旛沼流域の メダカの起源

尾田 正二

(博士(理学))

東京大学大学院新領域創成科学研究科 准教授

NPO法人四街道メダカの会

日本めだかトラスト協会

## 1 メダカとは

メダカは、私たちヒトと同じ脊椎動物として生命科学や基礎医学の研究の現場でモデル動物として活躍しています。例えば、光るクラゲの遺伝子を遺伝子組換えした光るメダカは私たちの体の中で起こっている様々な生理現象を可視化できるので、病気の原因を明らかにする研究などで盛んに利用されています(図1)。



図1 光る遺伝子組換えメダカを含む様々な研究用メダカ

メダカは北海道を除く日本の淡水域にひろく分布しています。分類学的にはダツ目メダカ科になり、コイやフナよりサンマ、トビウオに近い種類です<sup>1)</sup>。メダカの学名は *Oryzias latipes* と言い、イネ；*Oryzias*の周りにいる幅広いヒレ；*latipes*の魚という意味になります。

日本に住むメダカのご先祖様は400年以上昔に中国大陸から朝鮮半島を介して日本列島に渡ってきたと考えられています。大陸から稲作が伝わって以来3千年余、体が小さいメダカにとって水田は格好のすみかとなり、稲作が暮らしの中心であった日本人にとって身近な存在でした<sup>2)</sup>。しかし、高度成長期以降の日本では、農薬、農地改良、減反など稲作は大きく変容し、外来種の侵入などもあってメダカ的生活環境は激変しました。その後、絶滅の危険が増

大しているとして、環境省が発表したレッドデータブックにおいて絶滅危惧II類に指定されました。

日本のメダカは日本海側に分布する北日本集団メダカ (*O.sakaizumii* キタノメダカとも呼ばれます) と、太平洋側と山陰地方に分布する南日本集団(ミナミメダカ)の大きく2つに別れます。さらに朝鮮半島東岸地域のメダカ(東韓集団)と朝鮮半島西側から中国大陸・台湾に生息するメダカ(中国・西韓集団；*O.sinensis* と呼ばれることもあります)とも遺伝的に違いがあります(図2)<sup>3)</sup>。

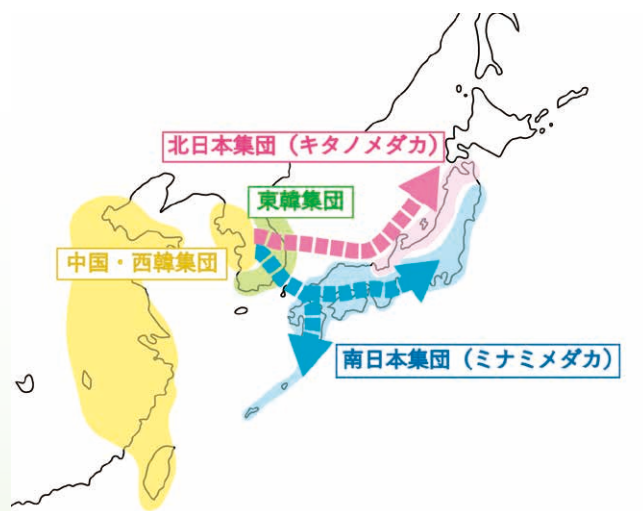


図2 日本列島に住むメダカは400年以上も昔に朝鮮半島経由で大陸からやってきた

## 2 メダカの採取とDNA鑑定方法

メダカもヒトも、一つ一つが0.01mmくらいの小さな細胞がたくさん集まってできている多細胞生物です。その細胞全てがミトコンドリアという細胞内小器官を100個以上持っていて、そこで生きていくためのエネルギーを酸素を使って作っています(呼吸と言います)。太古の昔に好気性細菌が細胞に取り込まれて共生をはじめたと考えられているミトコンドリアは、細胞の核DNAとは別に独自のDNAを持って細胞の中で分裂・増殖します。メダカでもヒトでも、ミトコンドリアは母親だけから引き継がれます。そこで、ミトコンドリアのDNAを解析することによって、母方の家系を知ることができます。新潟大学の酒泉満博士と竹花佑介博士(現・長浜バイオ大学)は日本中の野生メダカのミトコンドリアのシトクロム*b*という遺伝子を調査して、日本の野生メダカの「家系図」(専門的には系統樹といいます)をつくり、南日本集団メダカを11の系譜(クレードBI~BXI)に分けました<sup>4,5)</sup>。この「家系図」にあてはめることによって、野生のメダカの由来を推定することができるようになり、また同時に、野生で生息しているメダカが実は最近になって人間によって放流されたメダカであることも推測できるようになりました。



メダカのDNA鑑定の手順を図3に示します。メダカの体の一部（尾ひれだけでも可）を採取して薬品を使ってそこからDNAを抽出します。この中にミトコンドリアのDNAも入っています。次に、PCR法によってシトクロム*b*遺伝子のDNAだけを増幅し、サンガー法<sup>(注1)</sup>でシトクロム*b*遺伝子の塩基配列を調べます。PCR反応の際にシトクロム*b*遺伝子のDNAだけと結合するプライマー<sup>(注2)</sup>（Forward primer : 5'-AGG ACC TGT GGC TTG AAA AAC CAC-3', Reverse primer : 5'-TYC GAC YYC CGR WTT ACA AGA CCG-3' ; W=AorT, Y=CorT, R=AorG）を使うことで、シトクロム*b*遺伝子のDNAだけを300億倍以上に増幅出来ます。メダカがどの系譜のシトクロム*b*遺伝子をもっているかを調べれば、そのメダカの由来を判定できます<sup>4)</sup>。

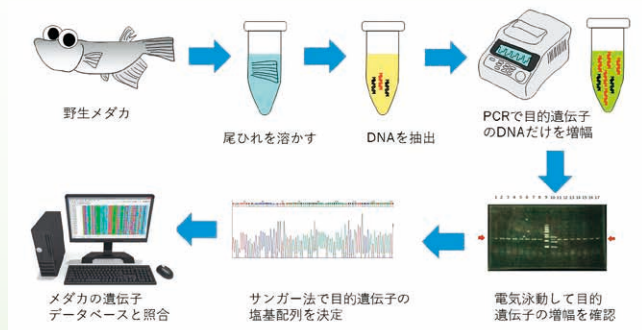


図3 メダカの鑑定の実験手順

PCR (Polymerase Chain Reaction) 法は、DNAを増幅する方法です。1983年に米国の生化学者キャリー・マリスによって発明され、今では世界中の研究室に普及しています。皆さんもご存知のとおり、PCR法は新型コロナウイルスの感染検査でも使われています。新型コロナウイルスの検出では、感染が疑われる被検者の鼻粘膜や唾液を採取し、（新型コロナウイルスはRNAウイルスなので）RNAを抽出します。新型コロナウイルスのRNAだけに結合するプライマーを使ってPCR反応を行うと、新型コロナウイルスのRNAが含まれている場合には新型コロナウイルスのRNAから増幅が起こって陽性と判定されます<sup>6)</sup>。また、DNA鑑定では個体の識別も可能です。フィールドで採取した糞便からDNAを抽出して野生のサルの群れの研究に役立てられるなど、野生動物の生活史の研究や生態学の調査で広く利用されています<sup>7, 8)</sup>。ヒトでも、唾液、汗などの体液から犯人を特定したり、あるいは親子鑑定に使われています。今では刑事ドラマでも当たり前に出てくる法医学の方法ですが、実用化されてまだ30年しか経っていません。ちなみに一番最初にDNA鑑定による個体識別が行われた動物は、ヒトではなくて競走馬でした。

令和元年度、NPO法人四街道メダカの会は、公益財団法人印旛沼環境基金の助成を受けて、四街道市内（成山地区）のメダカのDNA鑑定を行いました<sup>9)</sup>。しかし、実施には大きな問題がありました。関東平野のメダカの系譜は難問で、結果の解釈が難しいのです。日本列島の南日本集団メダカは、北部九州を起点として数十万年以上の長い年月をかけて種内分化しながら西から東に進出したよう<sup>4, 5)</sup>。この結果に従うと、西日本の、例えば瀬戸内地方にいるのと遺伝的に同じメダカが関東平野にもいるのではとても不自然です。でも、実際、関東平野には瀬戸内地方のメダカと同じ系譜のメダカがたくさん住んでおり、それらはヒトの手で西日本から関東に連れてこられて放流された可能性が考えられます。例えば、地域のメダカが少なくなったのでお店で購入したヒメダカを放流したとか（ヒメダカの出身地は奈良県と愛知県が多い）、家でヒメダカを飼っていたが餌がなくなったので殺すのはかわいそうだから近くの池に放流した、という話が実際にありました。あるいは江戸時代にはすでにメダカが庶民の愛玩動物として飼われていたので<sup>2)</sup>、参勤交代で国元のメダカをお土産に江戸にもってきちゃった？ってことも考えられます。その当時からマニアが色変わりの突然変異メダカを系統維持していたようです（その代表が今のヒメダカです）。もっとも昔の弥生時代には、稲作の広がりとともにメダカが水田と一緒に西から東に広がった可能性もあり得ます。ヒトにとっては3千年もの大昔であっても、400年以上日本にいるメダカにとってはつい最近の話です。ともかく、「やってみなはれ」で、今回メダカ研究の鬼門に挑戦しました。

### 3 印旛沼流域(四街道市)のメダカのDNA鑑定

四街道メダカの会が保全している四街道市成山地区から採取した野生メダカ15匹のシトクロム*b*遺伝子を解析しました（図4）。



図4 千葉県四街道市内のメダカ採取地と採取した野生メダカ

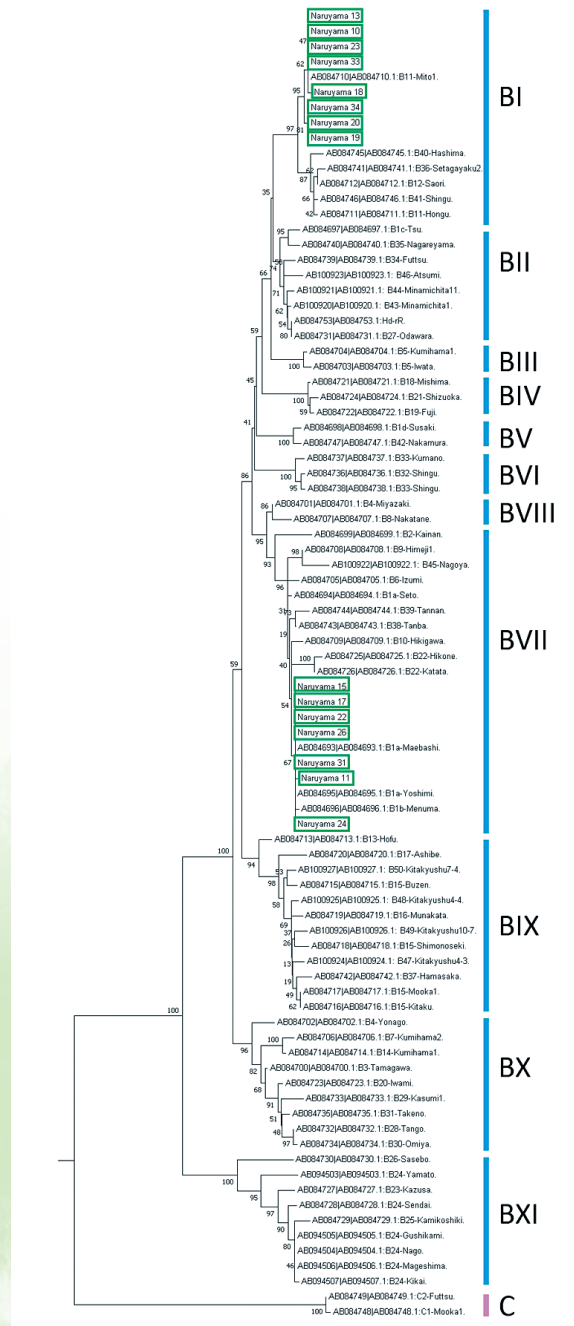
その結果、クレードBIグループに属する茨城県水戸市メダカと同じ遺伝子配列を持つ8個体と、関東平野の利根川流域（埼玉県旧妻沼町、吉見町、群馬県前橋市など）に



広く分布するクレードB VII グループに属する7個体から構成されていました(図5)。そこで、以下の理由から、成山地区のメダカは四街道地域に土着のメダカ個体群である可能性が高いと考えられました。

クレードBIメダカは関東地方を中心に東日本の太平洋岸に広く分布するメダカです(図6)<sup>4)</sup>。その昔、メダカが日本列島を進出して行った過程では遺伝子の突然変異が少しずつ蓄積していきました。従って、遠く離れて生息するメダカ個体群ほど遺伝的に離れることになります。逆に、近くで生息しているメダカ個体群は、共通のご先祖様から分家してまだ時間が浅いので遺伝的に近く、系統樹での位置も近くなります。つまり、系統樹の中での位置関係と生息場所の地理的な位置関係は基本的に一致するのが自然です。水戸市メダカに近い個体が成山メダカの中に見つかったことは、成山メダカが四街道地域にもともと居た土着のメダカである可能性が高いことを意味します。もしも、日本の全く離れた場所に生息しているメダカと近縁であったとすると、そのメダカは最近(と言っても過去数百年か、もっと昔かもしれません)になって人間の手で運ばれてきたと考えるのが自然です。

クレードB VIIメダカは瀬戸内地方と関東地方とに広く分布するメダカです(図7)<sup>4)</sup>。先の議論から、過去には関東地方においてクレードB VII メダカが見つかる、瀬戸内地方から人為的に移入してきたメダカと判断されました。しかし、最近になってクレードB VII メダカの中に、関東地方にもともと自然にいる個体群があることがわかってきました<sup>11)</sup>。関東地方ではクレードB VII メダカが埼玉県吉見町、旧妻沼町および群馬県前橋市で採集されています<sup>4)</sup>。四街道地域が利根川の下流域であることを考えれば、埼玉県、群馬県に分布するクレードB VII メダカが生息することは、むしろ自然であると考えられます。なぜなら、江戸時代以前には毎年のように利根川が氾濫していましたし、約6千年前までは縄文海進と言って海岸線が内陸深く埼玉県にあったからです。利根川流域に分布するクレードB VII メダカと、海岸線経由で水戸のクレードBIメダカが四街道で合流し、現在の四街道の土着のメダカの祖先となったことは容易に想像できます。関東平野の野生メダカのDNA鑑定が難しい理由は、クレードVIIメダカのように西日本にいるはずのメダカが関東平野にかなりの数が住んでいるからです。弥生時代以降ヒトの手による攪乱が加えられてきたにしても、その攪乱の程度が大きすぎるように思えます。そこで、そのようなことが自然で起きる可能性がないかを考えてみました。





## 4. まとめ

400万年前以上の昔に朝鮮半島からメダカが初めて日本にやってきて北九州に住み始め、その後日本の津々浦々に広がって行きました。その時のメダカの直系の子孫が今もそのまま日本の津々浦々に住んでいると考えがちですが、違います。日本列島の太平洋岸ではプレート境界型の大地震（南海トラフ地震）が定期的に発生します。メダカが日本に移り住んで400万年の間に、大津波が何度も何度もあったはずですが、大津波のたびに太平洋側の海岸域のメダカは海に流されました。でも、ダツ目のメダカはもともと海出身なので、海水でも生きていけます。そのうち運良く海岸にたどり着いたメダカはもともとそこにいた土着のメダカと交配して子孫を残したはずですが、加えて、メダカ属は南のインドネシアで生まれました。メダカ属の中で一番北に進出したのが日本のメダカです。もともと南国出身のメダカは日本の冬をギリギリ耐えて越冬しています。氷河期にはメダカの分布は大きく南に後退し（寒い地方にいたメダカ個体群は絶滅して、暖かい南の地方にいたメダカだけが生き残った）、暖かい間氷期になるとメダカは日本列島を再び北へと進出し、また氷河期になると南にいたメダカだけが生き残って、を400万年の間に繰り返してきたと考えられます。最後の氷河期が終わったのはつい1万年前です<sup>11)</sup>。今我々が眼にしているメダカは、最後の氷河期が終わった後に改めて日本列島に広がったメダカたちの子孫と考えるべきです。関東平野は非常に特殊な地形です。多摩川、荒川、利根川などが毎年氾濫してつくった巨大堆積平野であり、本州では他に例がありません<sup>12)</sup>。そこに住んできたメダカは洪水と大津波と気候変動で400万年の間激しくシャッフルされてきたと考えられます。ですので、最近になって人為的に放流されたのか、もともと自然状態でそのようなのか、実際にはDNA鑑定では判断ができない場合が多々ありますし、メダカの歴史を考えれば、判断できない場合が多々ある方がむしろ自然と言えます。

DNA鑑定はとても強力でとても有用な方法です。野生メダカ以外でも、ドジョウなどの魚類、ゲンゴロウなどの希少な昆虫類、鳥類、哺乳類など動物植物問わず全ての生物を対象として種の同定や生活史の解明が可能になり、野生生物の知られざる暮らしが次々に明らかになりつつあります<sup>5, 8)</sup>。同時に、DNA鑑定は万能ではありません。いつも正しい答えが出る訳ではありません。DNA鑑定の結果をみて答えを出すのは、私たち人間だからです。今は正しいと思っている答えが間違っていることもあり得ます。だからこそ、謙虚に真摯に問題を考え続けることが必要です。それによって正しい答え、より深い物事の理解に至ることができます。最初は、日本の野生メダカの地理的分布

と系統樹での位置関係はきれいに一致するはずとシンプルに考えていました。でも、関東平野のクレードVIIメダカのように一致しないメダカを深く捉えることによって、メダカの激動の歴史に触れることができました。印旛沼流域を含む関東地方のメダカの系譜の複雑さは、日本の厳しい自然環境で生き抜いてきたメダカの波乱万丈な歴史を物語っていたのでした。

### 【参考文献】

- 1) 岩松鷹司：メダカ学全書、大学教育出版（2018）
- 2) 岩松鷹司：メダカと日本人、青弓社（2002）
- 3) 酒泉満：メダカの系統と種内構造、蛋白質核酸酵素、45（17）2909-2917（2000）
- 4) Takehana et al.: Zoological Science, 20, 1279-1291（2003）
- 5) 渡辺勝敏・高橋洋 編：淡水魚地理の自然史 北海道大学出版社（2010）
- 6) 病原体検出マニュアル 2019-nCoV Ver2.9.1 国立感染症研究所（2020）
- 7) 河村正二、サルの色覚が教えてくれること、日経サイエンス、36（10）、53-55（2006）
- 8) 増田隆一・阿部永 編著、動物地理の自然史、北海道大学出版社、（2005）
- 9) NPO四街道メダカの会：成山と山梨小のメダカのDNAを調べてみました、めだか新聞110号（2020）
- 10) 入口ら：関東地方におけるミナミメダカ集団の在来マイトタイプの再検討、魚類学雑誌、64、11-18（2017）
- 11) 中川毅：人類と気候の10万年史、講談社ブルーバックス（2017）
- 12) 山崎春雄・久保純子：日本列島100万年史、講談社ブルーバックス（2017）

（注1）サンガー法

フレデリック・サンガーらにより開発されたDNAの塩基配列決定法。ダイデオキシ法とも呼ばれる。

（注2）プライマー

DNAポリメラーゼにDNA鎖を合成させる際には、鋳型となるDNA鎖の他に、複製される新しいDNA鎖のもととなる短いDNA鎖が必要である。PCR反応では化学的に合成した短いオリゴヌクレオチド（通常は20塩基程度）を使用する。

# 印旛沼の 植物プランクトン

半野 勝正  
(博士(生命科学))  
(公財)印旛沼環境基金

## 1 プランクトンとは

みなさんは、「プランクトン」と聞いて、何を思い浮かべるでしょうか。池や沼に生息し、金魚やメダカの餌のミジンコを思い浮かべるでしょうか。「プランクトン」という言葉は、古代ギリシャ語で「漂う」「流される」といった意味をもつ「planktos」に由来していて、淡水・海水を問わず世界中の水域に浮遊している生物の総称を言います。ゾウリムシやミジンコなどの $\mu\text{m}$ ~ $\text{mm}$ 単位の小さな微生物から、エチゼンクラゲのように数 $\text{m}$ を超える大きさのものまで、水中を漂って移動する生物はすべてプランクトンに含まれます。プランクトン誕生の歴史は古く、約35億年前の原始の海にはすでに存在していたと考えられています。最古の植物プランクトンと言われるシアノバクテリア類は、光合成をすることで大気と海洋に酸素を送り込み、地球環境をつくりあげていった、我々人類の大恩人なのです。

「プランクトン」には、大きく分けて、「植物プランクトン」と「動物プランクトン」の2種が存在します。植物プランクトンは、体内に葉緑体を持って光合成をし、必要な栄養素を自ら生産するため、自発的な運動を必要としません。一方、動物プランクトンは、光合成をせずに外部から栄養を摂取するため自ら運動をするものです。印旛沼の水辺の色が緑色に見えたり、黄緑色、青緑色、また最近では茶褐色に見えたりするのは、植物プランクトンの仲間が水の中で生きているからです。

ここでは、印旛沼の中に住んでいる主な「植物プランクトン」についてお話します。

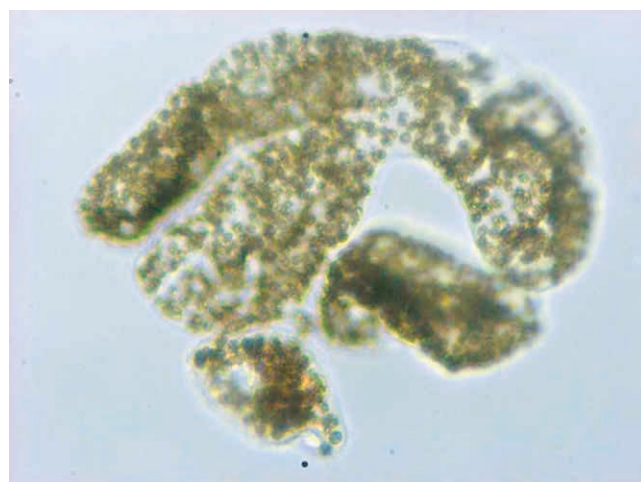
なお、印旛沼における植物プランクトンの写真については、千葉県環境研究センターホームページから「印旛沼でみられるプランクトン」(<https://www.pref.chiba.lg.jp/wit/suishitsu/plankton/index.html>)をご覧ください。

## 2 植物プランクトンの種類

植物プランクトンには、藍藻、緑藻、珪藻、渦鞭毛藻などの種類があります。

### 2.1 藍藻類

藍藻類は原始的な藻類で、細胞の中にはっきりとした核を持ちません。印旛沼ではアオコの原因となるマイクロキステイス属 (*Microcystis sp.*)、アナベナ属 (*Anabena flos-aquae*)、オシラトリア属 (*Oscillatoria sp.*) などがよく見られます。

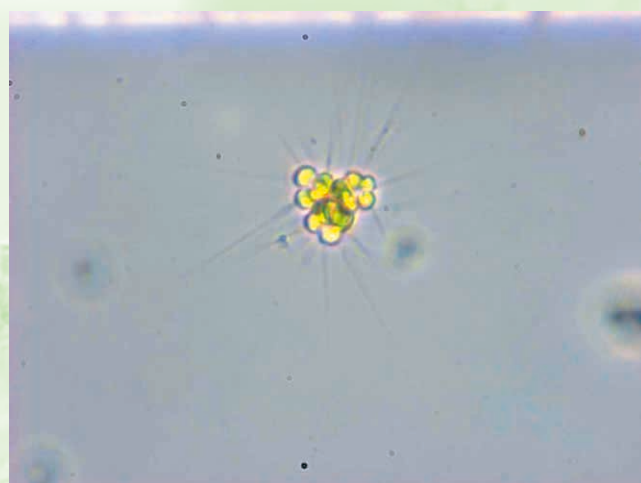


*Microcystis sp.*

(千葉県環境研究センター「印旛沼でみられるプランクトン」HPより引用)

### 2.2 緑藻類

緑藻類は鮮やかな緑色をしています。印旛沼ではミクラクチニウム属 (*Micractinium pusillum*)、セネデスムス属 (*Scenedesmus sp.*) 及びクンショウモのなかまのペディアストルム属 (*Pediastrum sp.*) などが見られます。



*Micractinium pusillum*

(千葉県環境研究センター「印旛沼でみられるプランクトン」HPより引用)



## 2.3 珪藻類

珪藻類は茶色い色をしています。ガラスの成分と同じケイ酸でできているので、死んだ後も堅い殻が残ります。印旛沼ではタラシオシーラ (Thalassiosira) 科の種 (Cyclotella 属、Stephanodiscus属など) やアウラコセイラ属 (*Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira granulata*) などがよく見られます。他にも、イタケイソウのなかま (ホシガタケイソウ属、ハリケイソウ属) やササノハケイソウのなかま (ニッチア属、バキラリア属) もしばしば印旛沼で見ることができます。



*Aulacoseira ambigua*

(千葉県環境研究センター「印旛沼でみられるプランクトン」HPより引用)

## 2.4 渦鞭毛藻類

渦鞭毛藻類はよろい板と呼ばれるかたい殻で全体が覆われています。印旛沼ではケラチウム属 (*Ceratium hirundinella*)、ギムノディニウム属 (*Gymnodinium* sp.) がよく見られます。



*Ceratium hirundinella*

(国立科学博物館「ダム湖のプランクトン」HPより引用)

## 3 印旛沼の植物プランクトン

印旛沼における植物プランクトンについては千葉県環境センターの岩山ら<sup>1)</sup>が1994~2018年度までの発生状況を報告しています。

それによると、印旛沼の植物プランクトンは、

第1期：1994~1998年度：CODが比較的高く、植物プランクトン総数が比較的多い時期。

第2期：1999~2008年度：微小鞭毛藻類<sup>注)</sup>が優占的に出現した時期。第1期に比べて降水量が多い。

第3期：2009~2013年度：第1期と比べ、COD及び植物プランクトン総数がやや減少した時期。第1期に比べ降水量多く、日照時間も長い。

第4期：2014~2018年度：微小鞭毛藻類が再び優占的に出現した時期。夏季の降水量が多く冬季の日照時間が長い。

以上の特徴がみられました。

近年の印旛沼は、夏場の藍藻類を除いて年間を通じて珪藻類が優占し、湖面全体が茶褐色~暗褐色になっています。

(注) 微小鞭毛藻類：5 μm以下の分類不明プランクトンをいう。

2.4の「渦鞭毛藻類」とは異なるので注意。

表1 印旛沼における植物プランクトンの優占種の経年変化

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1994年度												
1995年度												
1996年度												
1997年度												
1998年度												
1999年度												
2000年度												
2001年度												
2002年度												
2003年度												
2004年度												
2005年度												
2006年度												
2007年度												
2008年度												
2009年度												
2010年度												
2011年度												
2012年度												
2013年度												
2014年度												
2015年度												
2016年度												
2017年度												
2018年度												
2019年度												
		珪藻		緑藻		藍藻						微小鞭毛藻類

### 【参考文献】

- 1) 岩山朱美、小倉久子：印旛沼における近年の植物プランクトンの発生状況、千葉県環境研究センター平成30年度年報、100-106 (2020)

## 編集後記

本書の前号は「40号・記念号」として発行しました。今号は、皆さんに親しんでいただける雑誌「印旛沼」として再スタートする思いで編集しました。

こんなことが知りたい、あの人の記事を読みたい、この問題を解説してほしい、などご希望がありましたら事務局までお寄せください。

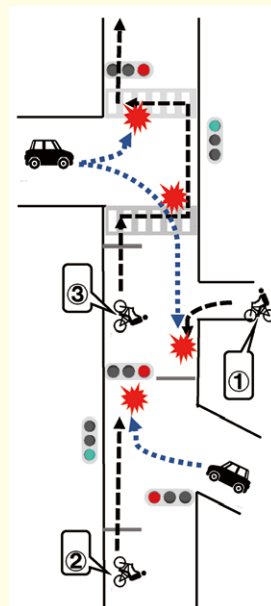
さて、昨年度末から新型コロナウイルスが猛威を振るい、楽しみにしていた様々なイベントが中止になる中、佐倉ふるさと広場で毎年開催されているチューリップフェスタも中止となってしまいました。

しかし、昨年秋の寒い中、小学校の児童の皆さんなどが一生懸命植えた球根は、見事に花を咲かせました。混雑に伴うウイルス感染防止のためやむを得ず早期に刈り取られましたが、懸命に咲いた姿をご覧ください。



(佐倉ふるさと広場にて 令和2年4月14日撮影)

話は一变して、貴重な紙面をお借りして普段気になっていることを記します。図は、自宅から駅に向かう途中の光景です。



まずは、左図の自転車。  
①わき道から躊躇せず左折  
②赤信号を無視して直進  
③突然横断歩道を横切り車の進路を妨害  
その他にも右側通行や歩道の高速走行等々。  
次に、電車に乗れば、  
・混んでいても2人分スペースの中央に堂々と座る人  
・大声での会話やイヤホン、ゲーム機等の音漏れ  
・座席下に鼻をぬぐったティッシュや空き缶をポイ捨て放置 等々

背広をまとった紳士、スポーツ少年など、老若男女を問わず、他人への迷惑をかえりみず、このようなルールやマナーを守らない人を多く見かけます。しかも、隠れるようにではなく堂々とルール違反をします。これらの人々は自己中心的で、普段から周りの状況を見ようとせず、人や周囲に対する配慮などとは全く無関係に生きているとしか思えません。

このような光景を目にするたび、今の環境問題とマナー違反は大きくかかわっているような気がしてなりません。他人を思いやれる人は、自然環境に対してもやさしくさりげなく注意を払うことができると思います。

水質汚濁や大気汚染、騒音・振動・悪臭のみならず地球温暖化やマイクロプラスチック問題に至るまで、世界中の多くの人々があたりまえのこととして、ちょっとした注意を払えば、環境悪化はかなり抑制できるのではないのでしょうか。

(公財) 印旛沼環境基金は、各種事業の実施にあたって、「環境保全は、まず人づくりから」ということを念頭に置いて、皆さんとともに歩んでいきたいと思えます。これからもご理解とご協力をお願いいたします。

編集：公益財団法人 印 旛 沼 環 境 基 金

発行：令和2年8月

〒285-8533 千葉県佐倉市宮小路町12番地

TEL:043-485-0397 E-mail: imbanuma@i-kouiki.jp

<https://www.i-kouiki.jp/imbanuma/>