

## 3-1 霞ヶ浦で優占していた植物プランクトン

～ 27年間に起こった、5つの大きな変化 ～

霞ヶ浦には多くの植物プランクトンが棲んでいます。これらの植物プランクトンは、動物プランクトンや魚の餌になりますが、中にはアオコの原因になって、悪臭を発生させるものもいます。過去の霞ヶ浦にさかのぼり、優占していた植物プランクトン相を解析しました。

### 問題の原因になる、藍藻類

霞ヶ浦の植物プランクトン相は、主に藍藻類と珪藻類によって構成されています。藍藻類の中には、湖水が緑色になるほど大増殖し、「アオコ」現象を引き起こすものがあります。アオコは、湖岸に集積して悪臭をもたらしたり、水道水のカビ臭の原因になることがあります。

霞ヶ浦は県民の憩いの場のひとつであり、その湖水は農業用水や工業用水、水道用水に広く利用されています。ですから、悪臭やカビ臭をもたらすアオコの発生は大きな問題です。この問題を解決するためには、藍藻類について知り、増殖のメカニズムを理解することが必要です。



Aはマイクロシステリス属の藍藻。小さな細胞が集まって大きな群体を作ります。Bはプランクトスリックス属の藍藻。Cは羽状目の珪藻。春によく出現します。Dは夏に多く出現する、中心目の珪藻です。

### 優占する藻類相からみる、霞ヶ浦湖水の時代区分

過去の霞ヶ浦では、どのような植物プランクトンが優占していたのでしょうか。今までの研究成果などを参考に、霞ヶ浦（西浦）の植物プランクトン相の変化を、右表にまとめました。

1978年から2014年の27年間は、植物プランクトン優占相から、5つの時代に分けることができます。1980年までの時代は、マイクロシステリス属の藍藻が夏季に大発生し、アオコを引き起こしていました。その後、1981年頃から優占種が変わりはじめ、1987年にはプランクトスリックス属の藍藻が優占するようになりました。プランクトスリックス属はカビ臭の原因になることが知られています。その後1999年頃からは藍藻類は出現せず、珪藻類が優占していました。ところが、2007年には再びプランクトスリックス属が、2011年からは再びマイクロシステリス属が増殖し、夏季にアオコを形成するようになったのです。

年代	時代区分	優占相の特徴
1978年	マイクロシステリスの時代	マイクロシステリスが夏季に大発生
1981年		マイクロシステリスまたはプランクトスリックスが大発生
1987年	プランクトスリックスの時代	プランクトスリックスが季節的に大発生
1993年		プランクトスリックスが年間を通じて出現
1999年	珪藻類の時代	マイクロシステリスやプランクトスリックスはほとんど出現しない
2007年	プランクトスリックスの時代	プランクトスリックスが年間を通じて出現
2011年	マイクロシステリスの時代	マイクロシステリスが夏季に大発生

### 環境が変わると、藻類も変わる

なぜ、優占する藻類が変化したのでしょうか。藍藻類だけでなく、すべての植物プランクトンは、それぞれに増殖に適した環境があります。湖水中の栄養の状況や、光の条件、水温、他の藻類との競争などです。これらの環境条件が変化したため、優占する藍藻類が変わったのではないかと考えています。

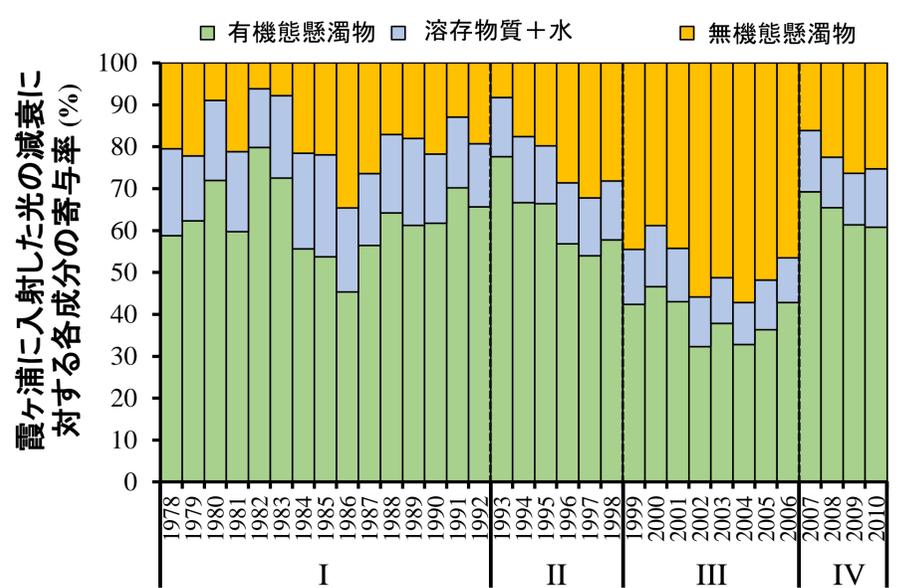
## 3-2 水中の光環境と、植物プランクトン

～ 光を減衰させる無機態懸濁物，薄暗い環境を好む藍藻類 ～

植物プランクトンの増殖には光の条件が重要です。ところが，1999年からの10年間は霞ヶ浦の湖水が白く濁ったようになる「白濁現象」が起こっていたため，水中の光の量が少なかった可能性があります。そこで，水中の光量が植物プランクトンに与えた影響を調べました。

### 無機態懸濁物によって減る水中の光量

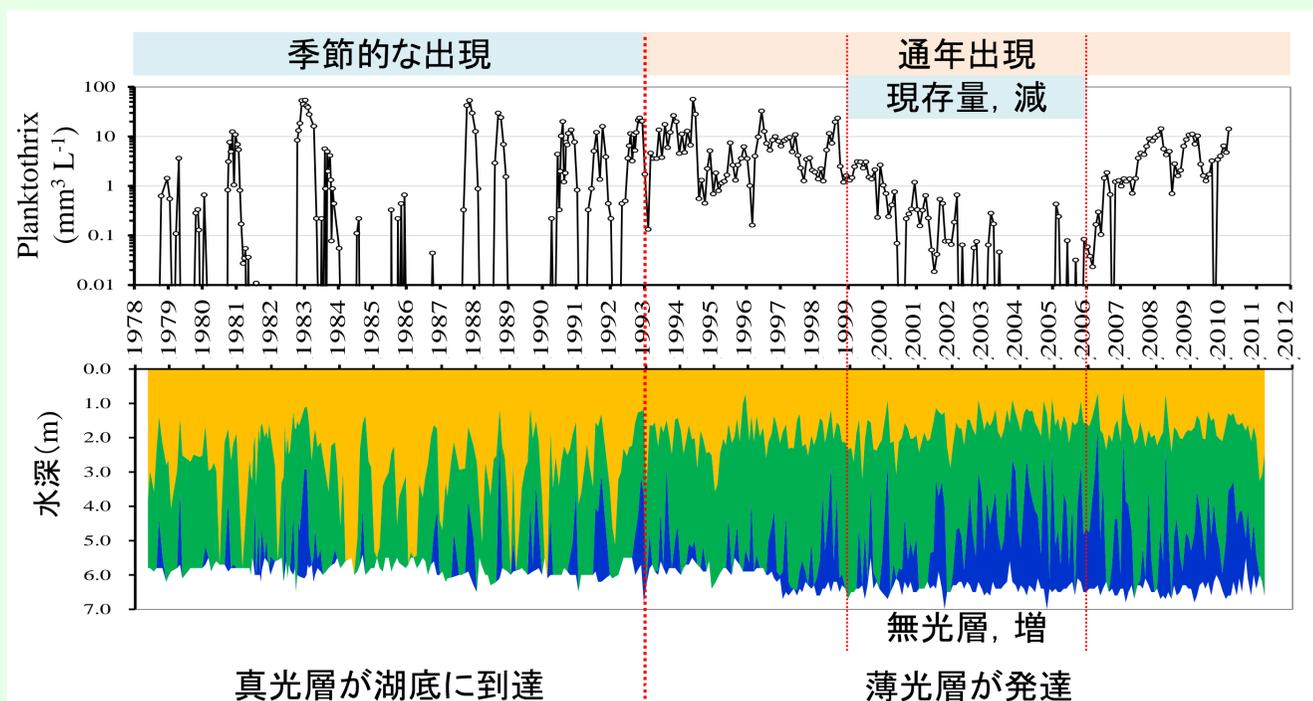
水中に入ってきた光は，水深が深くなると減衰します。この減衰には，水自身や有色の溶存物質，植物プランクトンの量，そして粘土鉱物などの無機態懸濁物が関わっています。なかでも，植物プランクトン量が主な要因とされています。しかし，霞ヶ浦（西浦）で光減衰に対するそれぞれの物質の寄与率を検討した結果，無機態懸濁物の寄与率が高いことが分かりました。1993年からは無機態懸濁物の影響が強まり，特に白濁現象が起きた1999年から2006年は，無機態懸濁物によって霞ヶ浦の光環境が大きく影響されていたと考えられます。



### 水中に届く光と，藍藻類プランクトスリックスの関係

水中に到達する光の量を測定し，水柱を真光層，薄光層，無光層の3層に分けました。そして，1978年から2012年における光環境と藍藻類プランクトスリックス属の現存量との関係を検討しました。すると，プランクトスリックスの量が増加している時期は，他時期と比較して薄光層が厚い傾向があることが分かりました。

光の条件とプランクトスリックスの出現パターンが類似し，この時期を4つに区分できました。



### 藻類の増殖量を，光環境が決めていた

1993年以降，無機態懸濁物で湖水が濁りだした時期には，薄光層が厚くなりプランクトスリックスの増加が見られました。一方で，2000年から2006年はさらに濁りが増し，無光層の割合が増えて弱光層の割合は少なくなりました。そのため，プランクトスリックスはあまり増殖できず，現存量が減っていたと考えられたのです。

## 3-3 霞ヶ浦で出現する糸状藍藻類「ユレモ目」の再同定

～ 最新の分類体系を利用し, 2属2種から9属15種へ～

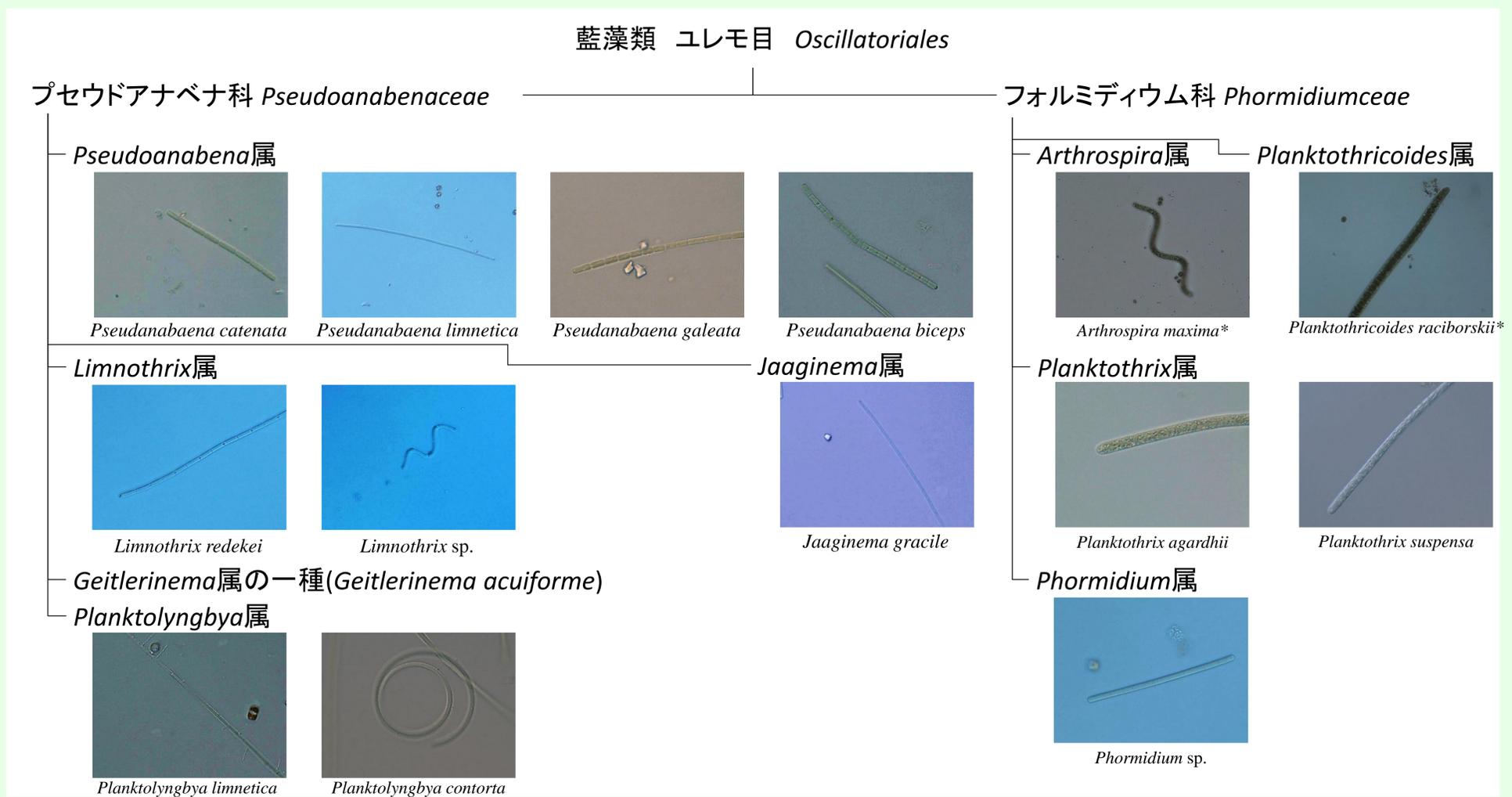
藍藻類のうち, 糸状のものがユレモ目に分類されています。霞ヶ浦でも多くのユレモ目が確認されますが, 細胞が数 $\mu\text{m}$ と小さく, 同定が困難です。また, 環境によって細胞の形が変わることが分かってきました。最新の分類体系を利用し, ユレモ目の藍藻を再同定しました。

### 藍藻類の分類は, 難しい

藍藻類の種類は, 細胞の形や大きさなどの特徴を手掛かりに分類されていました。ところが, 実験室で培養してみると, 今まで手掛かりにされていた特徴のなかに, 環境条件によって左右されるものが含まれていたことが分かってきました。そこで, 2005年に海外の研究者によって, 藍藻類の新たな見分け方(分類体系)が提案されました。そこで, この新しい分類体系に基づき, 霞ヶ浦に多く出現するユレモ目の藍藻を再同定しました。

### 新しい分類体系を利用した結果, より詳細な分類が可能に

2006年まで, 霞ヶ浦で出現するユレモ目の藍藻は2種類(*Phormidium*科の*Phormidium tenue*と, *Oscillatoria*属の一種)とされていました。しかし, 新しい分類体系に基づいて再同定したところ, *Pseudoanabaena*科の藍藻10種と*Phormidium*科の藍藻5種, 合計15種に分けられることが分かりました。



### 他の研究者も同定できるように, 検索表を作成

霞ヶ浦で多く観察されたユレモ目には, 細胞幅と長さの比に種ごとの明確な違いがありました。これらの情報と細胞の形状をまとめた「藍藻類ユレモ目の検索表」を発表しました。種ごとに好む環境が異なる可能性があるため, 種を詳細に同定できることは, 藻類全体の変動解明につながると期待されています。

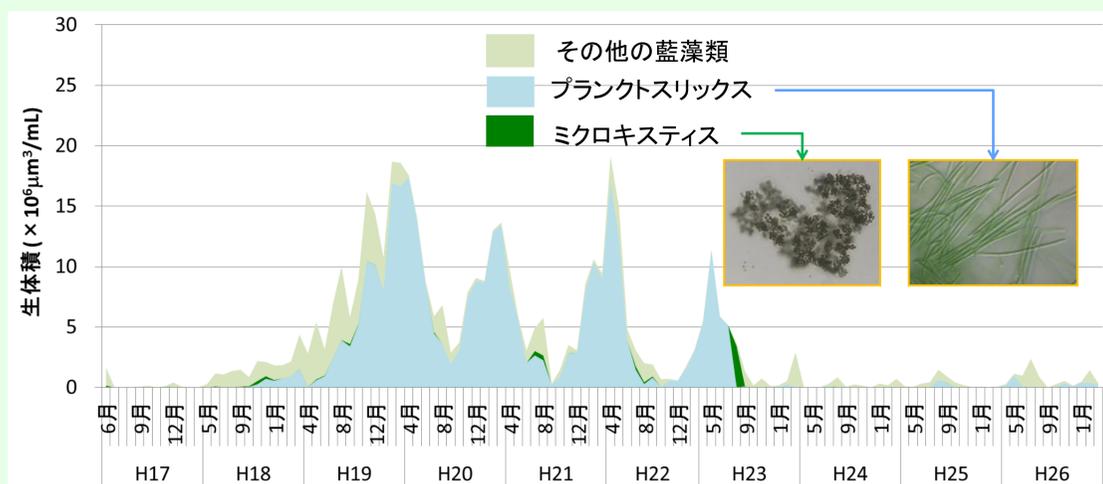
## 3-4 糸状藍藻(プランクトスリックス)の優占機構

～ 平成19年から発生した、糸状藍藻類優占の謎に迫る ～

プランクトスリックスとは藍藻の一種で、細長く糸状の形が特徴です。大量に増殖すると、水道水のカビ臭の原因になることが知られています。霞ヶ浦では、平成19年から23年の冬から初夏にかけて優占していました。その優占機構について、実験により明らかにしました。

### 近年の霞ヶ浦における、藍藻類の変遷

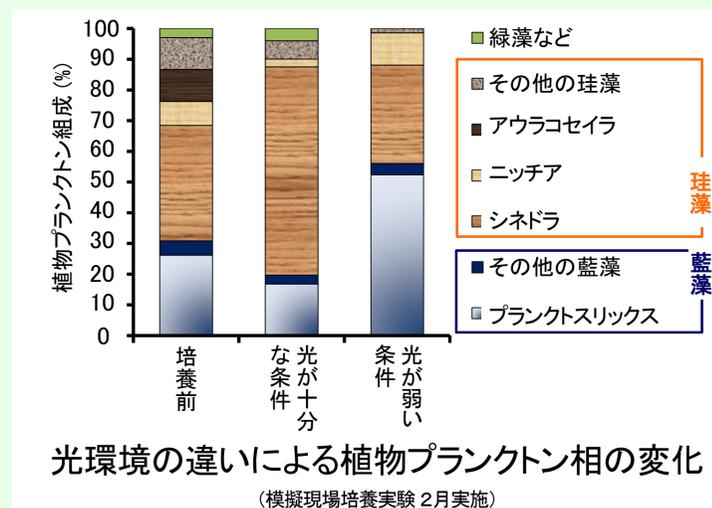
およそ30年前、1978年頃の霞ヶ浦の藍藻類は、アオコの原因となるマイクロシステス(*Microcystis* 属)が多くみられていました。しかし右図に示すように、平成19年(2007年)から平成23年(2011年)にかけてはプランクトスリックス(*Planktothrix*属)が藍藻類の大部分を占めるようになり、特に冬季に大発生していました。



### 弱光と低水温に強い、プランクトスリックス

なぜ、プランクトスリックスが優占したのでしょうか。水温と光を変えてプランクトスリックスを培養したところ、他の植物プランクトンと同様に、高い水温や強い光の条件で早く増殖しました。しかし、低い水温や光が少ない条件で増殖できることも、分かったのです。

他の植物プランクトンと一緒に培養すると、プランクトスリックスは、他の植物プランクトンが利用できない弱い光や低い水温の時に増殖していました。一方で光が十分にあるときは、あまり増殖していませんでした。これは、珪藻など他の植物プランクトンとの競争に負けてしまうためと考えられます。



光環境の違いによる植物プランクトン相の変化  
(模擬現場培養実験 2月実施)

### プランクトスリックスを減少させるためには

プランクトスリックスが増加した平成19年(2007年)頃は、白濁現象がまだ持続しています(3-2 水中の光環境と、植物プランクトン)。このときの光環境が、プランクトスリックスの大発生をもたらしたと考えられました。平成23年頃からは白濁現象が収束して光環境が改善されたため、プランクトスリックスは減少してきています。

霞ヶ浦の植物プランクトンは、右表のように変遷しています。近年、透明度は改善してきていますが、窒素やりんが十分にあり現状では、昭和50年代のような、ミク

ロシステスによるアオコの発生も懸念されています。霞ヶ浦の水質を安定させるためには、窒素やりんの削減はもちろんのこと、光環境を改善し、水草などの復活により生態系を豊かにしていく必要があります。

霞ヶ浦における植物プランクトンの変遷

年代	植物プランクトンの変遷	出来事
昭和45～55年	マイクロシステス隆盛	アオコの発生, 沈水植物の消滅
昭和56～61年	マイクロシステス減少	霞ヶ浦富栄養化防止条例(昭和57年)
昭和62～平成10年	プランクトスリックス優占	大規模浚渫開始(平成5年), 水位操作開始(平成8年)
平成11～18年	珪藻優占	白濁現象(平成8～18年)
平成19～22年	プランクトスリックス優占	COD高値(平成21年)
平成23年～現在	マイクロシステス再出現	アオコの大規模発生(平成23年)