

オウミア No.54

琵琶湖研究所ニュース

1995年12月

編集・発行／滋賀県琵琶湖研究所

〒520 大津市打出浜1-10

TEL 077-526-4800

[プロジェクト研究紹介「深まるアオコ発生之谜」](#)

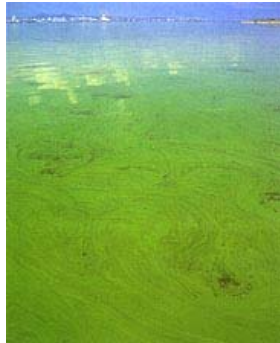
[研究トピックス「40メートルもの高さをもった水中の大波」](#)

[Q&A「世界湖沼会議について」](#)

[世界の湖沼研究②「カナダにおける湖沼研究\(2\)」](#)

アオコ発生之谜を探る

諏訪湖や霞ヶ浦など富栄養化した浅い湖沼では、夏季に水面が緑色の絵の具を流したような状態になることがあります。これがアオコ(青粉)です。近年、琵琶湖の湖岸でもアオコが頻繁にみられるようになり、その発生メカニズムの解明と発生防止対策の実施が必要とされています。



琵琶湖南湖の赤野井湾に発生したアオコ(1994年、夏)



赤野井湾のアオコ発生時の航空写真(1994年、夏)。東西方向(左右方向)に帯状にアオコの高濃度域が分布している。アオコの集積は風の作用の影響が大きいといわれる。下に見えるのは烏丸半島で、琵琶湖博物館(仮称)が建築されている。烏丸半島の東側(右側)はハス群落。(写真:株式会社かんこう撮影)



アオコの発生の謎を探るために赤野井湾に設置された隔離水界実験施設(1995年、夏)。湖の一部をシートで囲んでミニ琵琶湖を作り、その中の環境条件を変えてアオコ発生に対する影響を調べる

【プロジェクト研究紹介】

深まるアオコ発生の謎

夏の風の穏やかなよく晴れた日、琵琶湖の湖岸で湖面が青緑色の粉を蒔いたようになっている(表紙:左上図)のを、見かけたことはありませんか?この現象は一般にアオコと呼ばれ、湖水中の植物プランクトンが大量に増殖して起こるものです。植物プランクトンと言っても、琵琶湖には少なくとも300種の植物プランクトンがいると言われています。アオコを引き起こすのは、その中の数種に過ぎません。

琵琶湖でアオコの原因となる植物プランクトンは、アナベナ(図1)とミクロキスティス(図2)です。これらの植物プランクトンは、シアノバクテリア(昔は、ラン藻と呼ばれていました)といて、大変原始的な細胞の植物プランクトンです。小さいツブツブの一つ一つがその細胞で、分裂によって増え、数百の細胞が写真のような群体を作ります(図1、図2)。

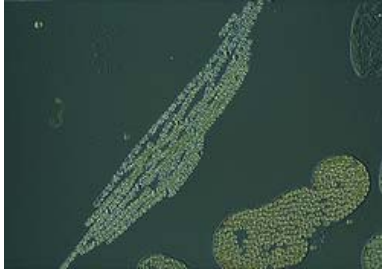


図1 アナベナ

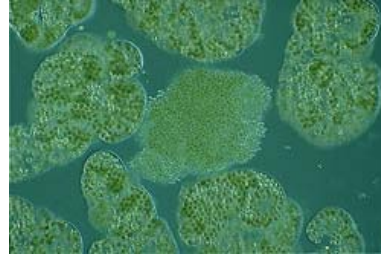


図2 ミクロキスティス

植物プランクトンはその名のとおり植物なので、水中の光と二酸化炭素を使って光合成をします。しかし、生物ですから自分のからだのタンパク質やDNAも作らねばなりません。そのためには、窒素やリンも必要です。湖の周りで人間活動が盛んになると、生物にとって栄養となる窒素やリンが過剰に湖に流入してきます。その結果植物プランクトンが大量に増殖したりすることを富栄養化といいます。たいていの場合、富栄養化が進んだ湖で出現する植物プランクトンは限られていて、アナベナとミクロキスティスはその代表的なものです。富栄養化が進むと、植物プランクトンの餌も増えるわけですから、他の種類の植物プランクトンも大增殖してもよさそうなのに、どうしてアナベナやミクロキスティスだけがあのよう到大増殖するのでしょうか?

アナベナについては、以下のような説があります。たいていの植物プランクトンは湖水中に溶けているアンモニアや硝酸などの窒素しか利用できませんが、アナベナは空気中の窒素ガスも自分の窒素源として利用できます。そのため、湖水中に溶けている窒素が欠乏するとアナベナにとって有利な環境ができるわけです。琵琶湖では、夏のお盆過ぎから湖水中の窒素が欠乏し、琵琶湖でアナベナが出現するのは例年この時期に当たります。しかし、そのような環境条件下でいつも必ずアナベナが出現するわけではなく、気象条件なども加味した詳細な研究が必要です。

多くの湖では、ミクロキスティスがアオコを引き起こすと、アナベナよりも大量に発生するだけでなく、長期間(約1ヶ月)アオコ状態が続きます。そのため、ミクロキスティスのアオコの発生機構の解明は、世界中の富栄養化した湖の緊急課題となっています。しかし、残念ながら、その発生機構は未だに明らかとなっていません。ミクロキスティスは、自らの比重を変化させて水中を鉛直的に移動することができます。これは、他の植物プランクトンにはあまり見られない特徴で、アナベナもこの特徴を持っています。ミクロキスティスの方がとくに優れていると言われています。このような物理的な特徴が、ミクロキスティスの大增殖の原因の一つとなっているのかも知れません。

現在、当研究所では、毎年おびただしいアオコが発生する赤野井湾に隔離実験水槽(表紙:下図)を4基設置し、アオコ発生機構の解明のための実験を行っています。本年度は、隔離された湖水をポンプで混合することにより湖水の物理的環境を変化させ、水温、窒素やリンの濃度、光環境、植物プランクトンの種類と密度などについて、測定およびサンプルの採集を行いました。現在、サンプルの分析やデータの解析を行っています。今後の琵琶湖のより良い管理のためにも、こういった基礎的な研究によるデータの蓄積が必要です。(研究員 **中野 伸一**、総括研究員 **中島 拓男**)

【研究トピックス】

40メートルもの高さをもった水中の大波

— 琵琶湖の非線形内部サージ —

▼典型的な水温構造

湖水の流れは、様々な理由で発生します。内部波とは、水面ではなく水中の波動のことです。その波動は、温かい表層水と冷たい深層水との境界である水温躍層の付近で発生します。そして、その影響によって生じる流れは水中で重要な役割を果たしています。

図は1993年夏の琵琶湖大橋北側の水深50メートル地点で、2日間にわたって計測した水温分布を示したものです。図中の赤い領域(24℃以上)を表層水、青い領域(14℃以下)を深水層と呼び、その中間の水温が急に変わる層を水温躍層と呼びます。このように暖かい水が冷たい水の上ののって成層している状態は、琵琶湖における夏期の典型的な水温構造です。

▼線形波動とは

しかし、この水温構造のまま水がいつまでもじっとしているわけではありません。湖面に風を受けて生じた表層水の移動により、水温躍層の深さが上下します。今、ある地点(1番とする)での上下運動が規則正しく繰り返されるとしましょう。その時、この基本運動を数式で表現すると、

$$Y_1 = A_1 \sin(\phi_0 + \omega t_1)$$

と書くことができます。ここで、 Y_1 は水温躍層の深さ、 A_1 は内部波の振幅、 t_1 は観測した瞬間の時刻、 ϕ_0 は初期位相、 ω は角周波数と言います。内部波の観測には、複数の水温計を深さ別に配置した多層水温計が用いられます。これで、通り過ぎる内部波を捉えることができます。

さて、次にLメートルの間隔で配置した3台の多層水温計の場合を考えましょう。Lメートル離れた地点(2番)で、同様に躍層深度の上下運動を観察した場合、 $Y_2 = A_2 \sin(\phi_0 + \omega t_2)$ と表現できれば、両地点には共通の波動が伝搬していたことが推測されます。もし、 $A_1 = A_2$ であれば波動は衰えずに伝搬したといえます。その時刻観測について $\Delta t = t_2 - t_1$ なら、伝搬速度は、 $L / \Delta t$ (単位: cm/sec)と表現できます。このように、波動の性質が正弦波の重ねあわせで表現できる場合、その波は「線形である」といえます。

▼サージとは

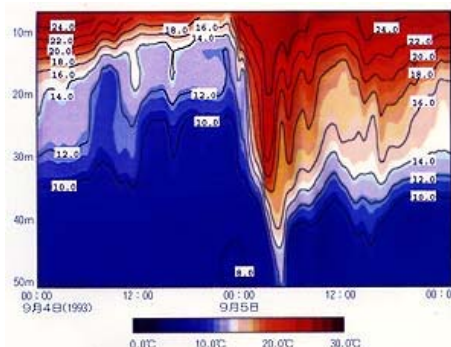
さらにLメートル離れた地点(3番)で、速度が速く振幅がさらに大きな波が観測されたとします。この波が $Y_3 = A_3 \sin(\phi_0 + \omega t_3)$ という式で表現できなかった場合、「線形波」とは呼びません。強風で生まれた通常より大きな振幅の内部波は移動中にさらに振幅が増して、波の勾配も急になっていきます。その波が、ある距離まで達して線形波とは呼べないほどの大きな振幅を持ってしまった波のことを「非線形内部サージ」と呼びます。

▼サージの事例

図には下向きに落ち込む非線形内部サージが記録されています。水温12℃の等温線を見ると、9月4日22時で水深14m、5日4時で水深51mと、37mもの振幅を持つ大きな波が通り過ぎました。約6時間かかり波頭が通過しましたが、その後6時間経った10時には、暖かい水が深いところまで入り込んだままになり、12℃線は元の14mの深さではなく約35mに見られました。

▼サージの影響について

このサージは湖底まで達し、湖底近くで最大流速61cm/sec(深水層の通常流速は10cm/sec弱)のジェット流が発生していたことが同時に観測されました。このような強い流れは、50mもの深さの湖底泥を巻き上げる可能性があり、琵琶湖の水質にも大きな影響を与えていたことが推測されます。(研究員 焦 春萌)



琵琶湖大橋北側での水温鉛直分布の時間変化

【Q & A】

世界湖沼会議について

Q 先日霞ヶ浦で「第6回世界湖沼会議」が開催されましたが、この会議は琵琶湖で最初に(1984年)開催されたそうですね。どういうきっかけで始まったのですか。

A その経緯については若山茂樹氏の著書「世界の湖沼保全」に詳しく書かれています。簡単に言えば、1981年12月、世界の湖沼保全対策の実状視察を行っていた当時の武村知事が、世界の科学者、行政、住民が一同に会し、湖沼保全の成功や失敗の例について意見交換することに「非常に大きな意義があると直感」し、あえて国際会議の開催を企画したということでしょう。既に県民の粉せっけん運動などを背景にして79年10月には富栄養化防止条例が制定されていましたし、琵琶湖研究所も会議の企画準備が進む82年に設置され、初代所長吉良竜夫氏が結果的にこの会議の中心的な役割を担うことになりました。

Q 今回の霞ヶ浦会議ではどんな話題が取り上げられたのですか。

A 日本から始まり、1986年にアメリカのミンガン(湖の化学物質汚染中心)、88年にハンガリーのバトン(広く世界の湖沼環境の現状の報告があった)、90年に中国の杭州(中国の湖沼問題の包括的な報告があった)、93年にイタリアのストレーサ(微量汚染物質問題や酸性雨による生態系への影響などのセッションがあった)と一巡した会議は、舞台を日本に戻し、再び科学者、行政、住民が一同に会して議論しようというものでした。1992年のリオデジャネイロでの地球サミットを受け、生物多様性問題、湖沼保全と水資源問題といった新しい切り口が示されると共に、一方では「霞ヶ浦セッション」などを通して住民参加や環境教育について熱心な、ときには激しい議論がありました。他方、「国際政策フォーラム」で先進事例が紹介されるなど、多くのユニークな試みがありました。今回は途上国から多数招待者を迎えるなどし、延べ8千人を越える大会議になりました。(所長 中村 正久)



(写真 ILEC提供)

【世界の湖沼研究②】

カナダにおける湖沼研究(2)

私が所属するラバル大学生物学科(ケベック州)の研究室では次のような研究が進められています。

1) セントローレンス川における食物連鎖過程に関する研究。注目しているのは淡水と塩水の遷移域における高い一次生産量です。それが、この川での魚類生産に重要な役割を果たしています。2) 亜極帯淡水生態系の陸水学研究。湖沼や河川は亜極帯の景観要素として重要な役割を持っています。ハドソン湾近郊をフィールドとして、物理環境と生物プロセスの相互関係に注目し研究を行っています。3) 地球環境変化に伴う高緯度生態系の応答に関する研究。この研究では温度と紫外線強度が淡水中の微生物食物連鎖過程にどのような影響を及ぼすかを調べています。現在、実験は亜極帯(野外培養器)、極帯(隔離水界による湖内実験)で実施していますが、今年末には南極での実験も予定しています。4) 廃水処理システムに関する研究。寒冷地域で微生物を利用した家庭あるいは農業排水の三次処理が可能かどうか検討しています。屋外の処理池を用いたパイロット試験を現在行っているところです。5) 藍藻類の生理生態学的研究。藍藻類はほとんどの淡水域で見られ、その中には(i)ブルームを形成して水質悪化を招く種(ミクロキスティスやアナベナ)、(ii)ピコプランクトン(シネココッカスなど)、(iii)湖底に付着しマットを作るマット形成種(フォルミディウムなど)が含まれます。(ii)の種は原生動物や小動物の餌として重要であり、食物連鎖の基礎となっています。また、(iii)の種も底生動物の餌として食物連鎖の中で重要な位置を占めます。これら3種の藍藻類の特性を把握するための研究を進めています。この研究の一部は琵琶湖において琵琶湖研究所との共同研究として進めています。

過去7年間、私は水の動きが植物プランクトン生産に及ぼす影響に興味を持ち研究を進めてきました。最近、琵琶湖のアオコの発生メカニズムを含めて、生物学的プロセスと物理的プロセスの相互関係に注目して研究を進めています。(ラバル大学 ジョン・ジャック・フレネット)



琵琶湖を観光する筆者(右は奥さん)