

## びわ湖を調べる

後藤 直成

環境生態学科

美しく神秘的なものや幻想的な魅力を放つもの、あるいは、怪しげな気配を漂わせるものがあればその正体を知りたいと思う。満々と水を湛えた湖や沼は、人の好奇心を駆り立てるような雰囲気を持っている。野山を越え、森に入り、草木をかきわけた眼前に湖沼が現れれば、その水面下を覗いて、どのような世界が広がっているのか、そして、その構造やしぐみを調べたくなる。



Naoshige Goto

ある環境や現象を調べる場合、いくつかの視点からみることで理解がより深まる。複数の視点から物事をみる重要性に関しては、「虫の目、鳥の目、魚の目で見る」という表現がある。「虫の目で見る」とは、現場の視点から対象の細部を視ることを、「鳥の目で見る」とは、高みから俯瞰的に物事を眺めることを、「魚の目で見る」とは、時間の流れ中で変化を読み取ることを意味している。この3つの目を使って琵琶湖の水環境を調べると、水面下の世界の構造やしぐみが見えてくる。

### 虫の目

調査船で琵琶湖に出て、まず目に飛び込んでくるのは湖面の色（水色）である。水色は湖水中に存在する物質の質と量によって決まるため、水色を見ることで、「今日の琵琶湖は植物プランクトンの緑藻が多いな」とか、「泥やシルトが混じっているな」などと、湖水中の物質の様相について見当をつけることができる。このような、自分の目で捉えた現場の感覚は非常に重要で、後々の分析・観測データの裏付けや解釈などに役立つ。ただし、それらの情報を野帳等に記録しなければ、時間の経過とともにその貴重な情報は頭から消え去って

しまう。

観測地点に到着すると、透明度や水温、濁度、pHなどの水質を示す代表的な物理・化学的項目を測定する。これらのデータから、当日の琵琶湖の水塊構造と水質をおおまかに捉えることができる。次いで、プランクトンネットを使って、植物・動物プランクトンを採取する。これらのプランクトンは琵琶湖生態系を根本から支え、水質に大きな影響を与える生物群であるため、それらの種組成や現存量を調べることは欠かせないものになっている。湖上から実験室に戻り、採取した試料を顕微鏡で観察すると、マイクロ世界の一端を覗くことができる（図1）。あとは、さまざまな解析ツールや手法を使って、プランクトンを中心としたマイクロ世界の構造と機能を明らかにしていくことになる。自ら現場に立って対象と直に接し、その細部に至るまでを視る「虫の目」は、フィールドサイエンスにおいてもっとも重要な目である。

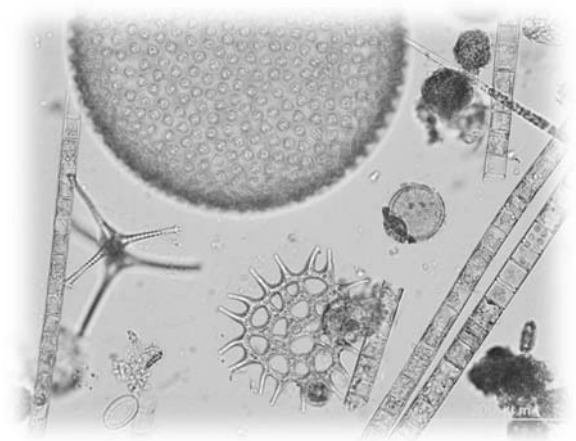


図1. ミクロ世界の一端：琵琶湖の植物プランクトン群集

### 鳥の目

日本で最大の湖面面積を有する琵琶湖で起こるさまざまな現象を、船舶観測だけで捉えることは難しい。そこで、広域・同時に琵琶湖を上空から俯瞰的に調べる手法として利用されているのが、衛星リモートセンシングである。衛星リモートセンシングとは、主として、地球表面上の対象物からの電磁波を人工衛星に搭載されたセンサで受信し、

対象物の光学情報を物質量などの情報に変換する技術である。例えば、琵琶湖では、植物プランクトン現存量の指標となるクロロフィルa濃度の時空間分布変動の把握にこの技術が利用されている。つまり、宇宙から微生物のうごきを視るわけである。琵琶湖北湖における典型的なクロロフィルa濃度の分布を図2（左図）に示す。北湖におけるクロロフィルa濃度は東部沿岸域と第二湖盆南部で高く、沖域と西部沿岸域で低い傾向にあることがわかる。また、浮遊生物である植物プランクトンは湖水流動のトレーサーとしても利用できる。図2（右図）は、成層期における湖東沿岸から沖域へと伸びるクロロフィルa濃度の帯状分布を捉えた画像である。このようなイベント的な分布は「鳥の目」で視ることで初めて捉えることができる。

また、衛星リモートセンシングでは、濁りを伴う懸濁物質のうごきを捉えることもできる。たとえば、大雨を伴う台風後には、わずか数日のうちに琵琶湖全域が濁水で覆われてしまう様子が衛星データから見て取れる。これは、琵琶湖は何かの汚染があれば、あっという間に琵琶湖全体に広がってしまうことを示している。このような広範囲における物質分布の把握は、対象を上空から視ることによって可能になるものであり、大局的かつ俯瞰的に視る「鳥の目」の重要性を示している。

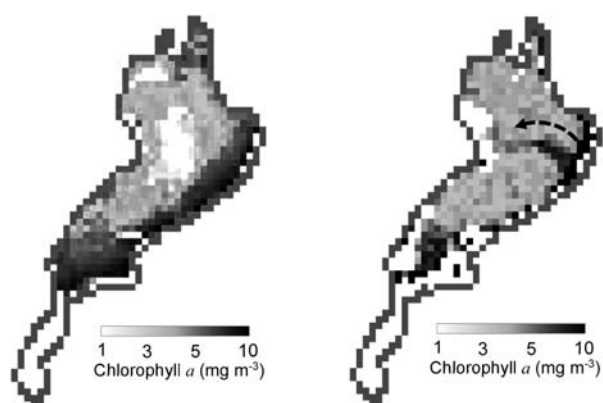


図2. 左図：2017年5月18日の北湖における典型的なクロロフィルa濃度分布。右図：2003年9月4日の北湖における湖東沿岸から沖域へと伸びるクロロフィルa濃度の帯状分布（図中の矢印）。両図ともに、北湖を対象として、人工衛星AQUA搭載の水色センサMODISのデータを塚本ら（2019）の方法で演算処理して画像化した。

### 魚の目

現在の琵琶湖盆の原形は現生人類（ホモ・サピエンス）が誕生する以前のおよそ40万年前に形成

されたことがわかっている。現在の琵琶湖北湖沖域の湖底には40万年の間に堆積した砂泥や有機物などが深さ数百メートル以上にわたって積み重なっている。これらの堆積物を掘削調査などにより採取し、その内容物を丹念に調べることで、琵琶湖生態系が誕生してから現在まで、どのような歴史の変遷を辿ってきたのかが明らかとなる。つまり、40万年という時間の流れの中で琵琶湖を視ることによって、現在の琵琶湖生態系の位置づけと将来トレンドを予測する材料を得ることが可能となる。この琵琶湖生態系の変遷については、いくつか成書が出版されているので、それらを読んでいただきたい。ここでは、筆者らが「魚の目」で琵琶湖を調べた具体例として、湖水中の環境を長期連続的に捉えることができる係留観測を取り上げる。

係留観測とは、ワイヤーやブイ、おもりを使って観測測器を水中に設置し、長期・連続的にさまざまな環境因子データを取得するものである。現在、水温や濁度、光量子量、流向・流速、溶存酸素濃度、クロロフィルa濃度、植物プランクトン群集構造などなど、さまざまな項目が係留観測により時間的に高解像度で測定できる。筆者は滋賀県との共同研究で2016年から2018年にかけて、上記の測器等を用いて琵琶湖北湖沖域における一次生産速度<sup>\*注釈1</sup>を琵琶湖ではこれまでに例のない時間的高解像度で測定した（図3）。その結果、琵琶湖北湖沖域における一次生産速度は気象イベントに起因する水環境の変化に応じて、日々大きく変動することが明らかとなった。また、その応答は気象イベントの規模や様相によって大きく異なることも示された。このような気象イベントに対する一次生産速度の応答は、長期連続測定することで捉えることができるものであり、「魚の目」で視ることによって、これまで見過ごされてきた現象を見出せた例である。

琵琶湖生態系は、日々年々、変化を続けている。その尻尾をつかんで、ようやくその一端を明らかにできたと思っても、すぐにするりと逃げて、その姿を変えてしまう。2019年は、琵琶湖の観測史上初めて、全循環<sup>\*注釈2</sup>に至らない年となった。この不完全な循環は、琵琶湖生態系に影響を及ぼし、琵琶湖はその姿を変えるだろう。「虫の目」、「鳥の目」、「魚の目」でまたまた追いかけていくことになる。

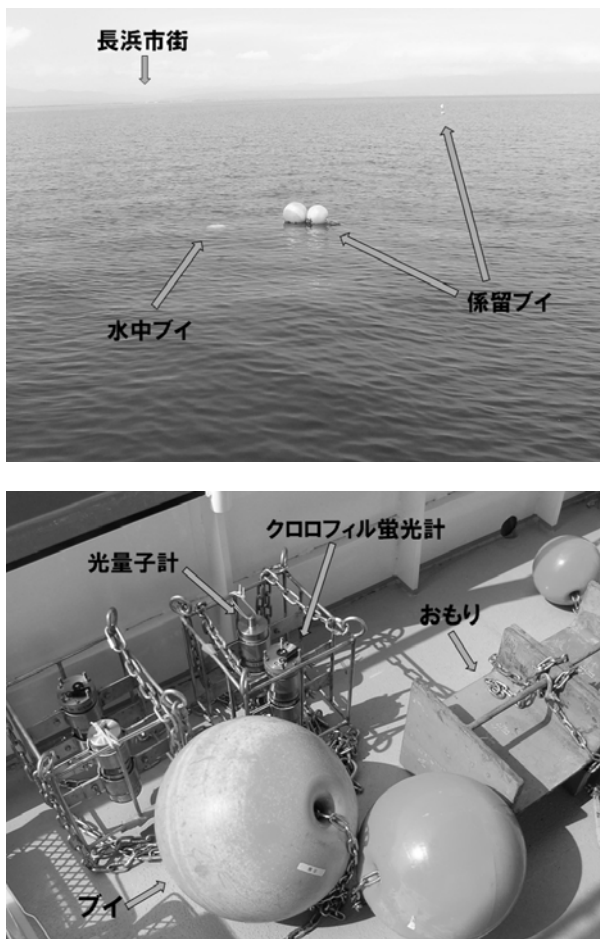


図3. 上図：琵琶湖北湖多景島沖に設置した係留系  
下図：係留系に設置する観測測器類

\*注釈1：一次生産とは、光合成による有機物生産のことであり、琵琶湖北湖では主に植物プランクトンがその役割を担っている。一次生産に関する情報は、琵琶湖の水環境を考える上で有用な情報であるが、測定が煩雑で時間を要するため、これまで連続的な測定は困難であった。そこで、筆者らは時間的に高解像度な観測を可能にする光学的観測方法の改良・高精度化の研究を進め、その測定精度を従来生物・化学的手法の精度に近づけることに成功した。これにより、従来方法では見過ごされていた様々な一次生産に関する現象を見出すことができた。

\*注釈2：琵琶湖の全循環とは、例年2月頃の北湖において、湖水が鉛直的に循環することで湖面から深度90mを越える湖底までの水温と溶存酸素濃度が鉛直的にほぼ一様に分布する現象である。