

## びわ湖をみるリモートセンシング技術

後藤 直成  
環境生態学科

### 衛星リモートセンシングと水の色

一昨年の年報特集（第23号）において、びわ湖を調べる「3つの目－虫の目、鳥の目、魚の目－」について記述した (<http://www.ses.usp.ac.jp/nenpou/np23/np23-013-015.pdf>)。これは複数の視点から物事をみる重要性を説いた表現で、「虫の目」は、現場の視点から対象の細部を視ることを、「鳥の目」は、高みから俯瞰的に物事を眺めることを、「魚の目」は、時間の流れる中で変化を読み取ることを意味している。これら「3つの目」の中でも「鳥の目」は、昨年から続いている新型コロナウイルス拡大の影響によって、その有用性が特に高まってきている。つまり、ここで言う「鳥の目」とは、対象物に直接接触することなく、離れた位置から対象物を探る技術、リモートセンシングである。



図1 びわ湖北湖に注ぐ犬上川河口上空から「鳥の目」で北方を望む

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捉えるためには、宇宙空間から地球上の対象物を捉える“衛星”リモートセンシングが有用である。衛星リモートセンシングとは、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、その電磁波の情報から対象物の性質や形状などを測定する技術である。電磁波の速さは毎秒およそ30万km（光速）であるため、人工衛星－地球表面間の距離であれば、対象物からの情報は瞬時に

人工衛星センサに伝わる。このため、衛星リモートセンシングは、広域・同時的かつ時空間的に解像度の高い観測が可能となっている。

水域観測の衛星リモートセンシングでは、人間が色を感知できる可視域（波長0.4～0.7 $\mu$ m）の光を利用することが多い。この場合、人工衛星に搭載されたセンサは水面の色を見ていることになり、この色は水中に含まれる物質（植物プランクトン、有色溶存有機物、無機粒子など）の質や量を反映して変化する。たとえば、透明度が高いリゾートビーチのような水域では、水中に含まれる物質がとても少ないため、青く見える（透明度が高い水域でも、水深が深い外洋のような水域では水中に入射した光がほとんど反射されず、水面から出てこないため黒っぽく見える）。一方、例えば、水域の基礎生産者である植物プランクトンを多量に含む水域は赤茶色（赤潮）や青緑色（アオコ）に、泥やシルトなどの無機粒子を多く含む水域は薄茶色（泥水）に、硫化物を多く含む水域は青白い色（青潮）に染まって見える。びわ湖は植物プランクトン現存量が比較的多いため、その湖面の色は緑色っぽくなることが多い（図2）。このように、水面から出てくる光は、水中に含まれる物質の情報を持っているため、リモートセンシングによって対象物の情報を得ることができる。



図2 びわ湖北湖沖域の湖面の色。水中に入射した可視域のほとんどは植物プランクトンや水分子などによって吸収されるが、緑系の色は散乱されやすく湖面から出射してくる割合が大きいため、緑色っぽく見える（グリーンウォーターとも呼ばれる）。

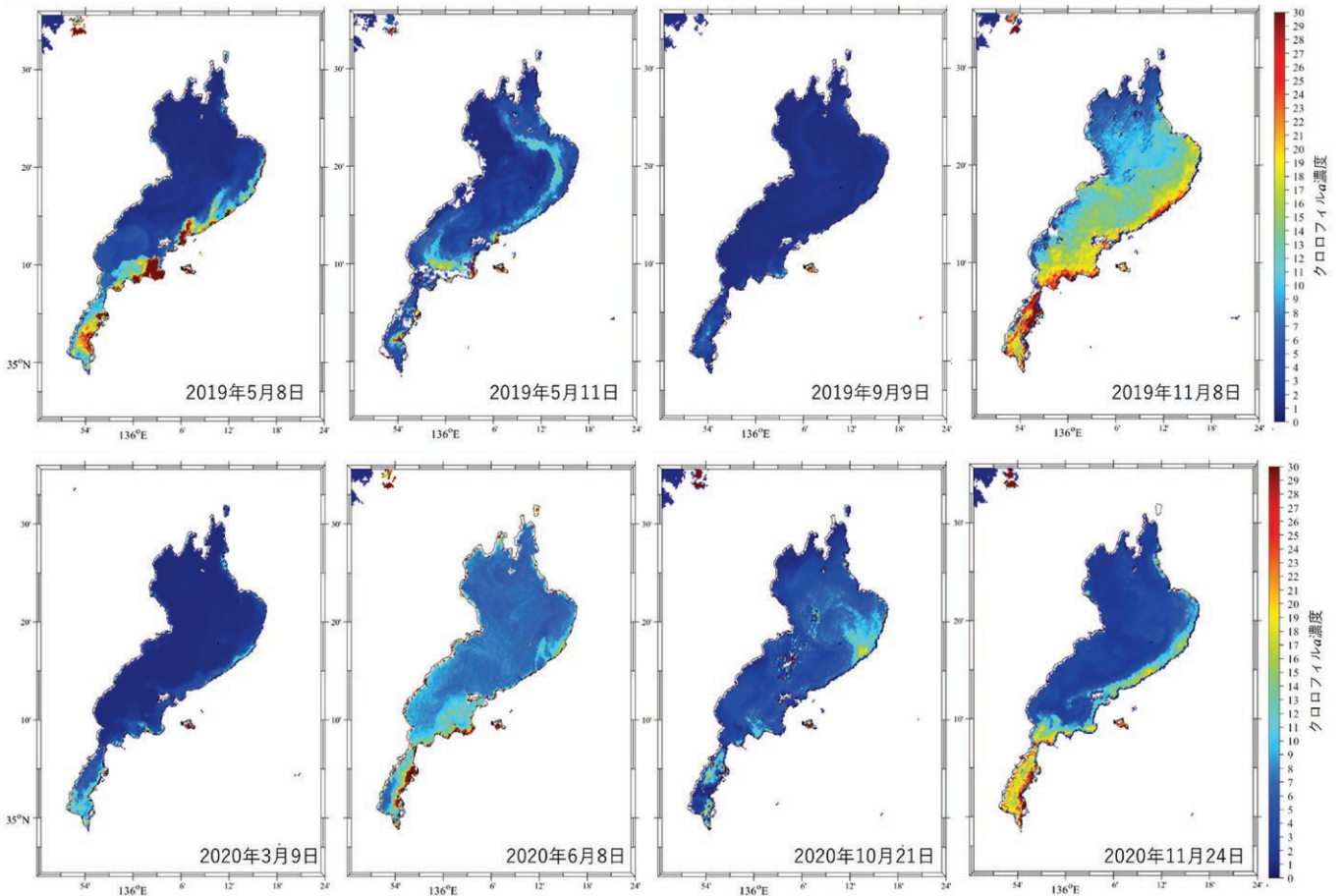


図3 2019年（上段）と2020年（下段）のびわ湖におけるクロロフィルa濃度分布

### びわ湖における植物プランクトンの分布

水圏の主要な一次生産者であり、その生態系を根本から支えている植物プランクトン群集の分布動態を詳細に把握することは、水質保全や漁業資源管理において欠かせないものとなっている。びわ湖における植物プランクトン群集動態のモニタリングは、これまで、船舶観測を中心に行われてきた。しかし、びわ湖は日本で最大の湖面面積（約640km<sup>2</sup>）を有する大規模湖であるため、船舶観測だけでは植物プランクトン群集動態を広域的かつ連続的に捉えることが難しい。そこで近年、上述してきた衛星リモートセンシング技術を用いた観測が実施されるようになってきた。つまり、宇宙から植物プランクトン群集をみるわけである。実際には、植物プランクトン細胞内に含まれる色素（クロロフィルa）量を指標にして、植物プランクトン現存量の分布を推定する。

筆者らは、人工衛星のセンサが受信した、湖面から出射した青色（波長490nm）と緑色（波長565nm）の光学情報を利用して、びわ湖におけるクロロフィルa濃度分布を推定してきた。

2017年に打ち上げられた気候変動観測衛星「しきさい」の多波長光学放射計（GCOM-C/SGLI）の衛星データから推定した2019年と2020年のびわ湖における特徴的なクロロフィルa濃度分布を図3に示す。

2019年の5月8日と11日のクロロフィルa濃度分布は、東沿岸域で濃度が局所的に高く、また、その高濃度域が東岸に沿って北方へと帯状に延びている様子を詳細に示している。これは、陸域からの窒素・リン栄養塩の供給イベント（代掻き、降水など）に起因した植物プランクトン群集のブルームと湖流の影響によるものと考えられる。琵琶湖北湖表層が貧栄養環境となる夏季（9月9日）の分布図からは、琵琶湖のほぼ全域でクロロフィルaがおおよそ1~3mg m<sup>-3</sup>の低い濃度であることがわかる。混合層深度がより深くなる秋季（11月8日）の分布図は、植物プランクトン秋季ブルームによる高濃度域が琵琶湖全域に広がっていることを明瞭に捉えている。特に、東沿岸域では20mg m<sup>-3</sup>を越える高濃度域が南北に連続的に分布していることがわかる。

冬季鉛直循環が大規模に起こる1月から3月、例年、琵琶湖のクロロフィルa濃度は低く、2020年3月9日の分布図からは、一部の沿岸域を除き、およそ1~3mg m<sup>3</sup>で分布していることがわかる。その後、日射量と気温が上昇し、陸域からの栄養塩供給イベントがある季節（5~6月）になると、琵琶湖では春季ブルームが発生する。6月8日の分布図はその様子を捉えており、全域で濃度が高くなっている。成層期の琵琶湖北湖北部の表層では、環流（半時計回りの流れ）が発達する。10月21日の分布図は、環流によって沿岸から沖域へと運ばれる植物プランクトン群集の様子を明確に捉えている。彦根沖付近で増殖した植物プランクトン群集が環流に乗って沖域へと移流し、円を描くように高濃度域が分布している。その後の成層構造が崩れはじめる11月になると、そのような分布はほぼ見られなくなり、琵琶湖でもっとも頻繁に観察さ

れる分布を示す日が多くなる。11月24日はその典型的なクロロフィルa濃度分布を示しており、東岸域で濃度が高く、それより沖域から西岸までは低い分布となっている。

人工衛星データから推測したクロロフィルa濃度分布は、琵琶湖における植物プランクトン群集の分布動態を詳細に捉えていた。この衛星観測を実施した2019年と2020年、びわ湖では冬季全循環が停止し、その影響は特に深層で顕在化した（貧酸素水塊の長期化・大規模化、底生生物の死滅など）。今後再び、全循環停止が複数年にわたって起こった場合、その影響は深層だけに留まらず、表層にもおよぶと考えられる。従来の船舶観測に衛星リモートセンシングを加えた「3つの目」による観測は、びわ湖生態系の動態を正確に捉え、今後の琵琶湖水環境の保全・再生に寄与すると期待される。

