

健全な水環境保全のための水質・湖底環境に関する研究

今井章雄¹⁾・霜鳥孝一¹⁾・高津文人¹⁾・小松一弘¹⁾・富岡典子¹⁾・篠原隆一郎¹⁾・高村典子¹⁾・松崎慎一郎¹⁾・早川和秀²⁾・岡本高弘²⁾・山本春樹²⁾

1. 目的

琵琶湖における有機物収支を把握・解析するために、定量的な評価指標として全有機炭素（TOC）を組み込み、未解明領域である微生物食物網と溶存有機物の特性解析の領域を中心に研究を実施する。また、水質や生態系に多大な影響を及ぼすことが懸念されている底泥環境の研究については、既存情報がとても乏しい底泥からの溶出（有機物や栄養塩）や底泥の酸素消費に焦点をあてて研究を展開する。

【現状における課題】

- 琵琶湖では、種々の水質改善努力により富栄養化は抑制されたが、琵琶湖の水環境は必ずしも健全な状態ではない。
- 異臭味の発生、内部生産の水質への影響、水草の大量繁茂等により生態系の脆弱化を招いている。
- 水質汚濁メカニズムを明らかにして、水環境・生態系を総合的に評価する手法を構築する必要がある。

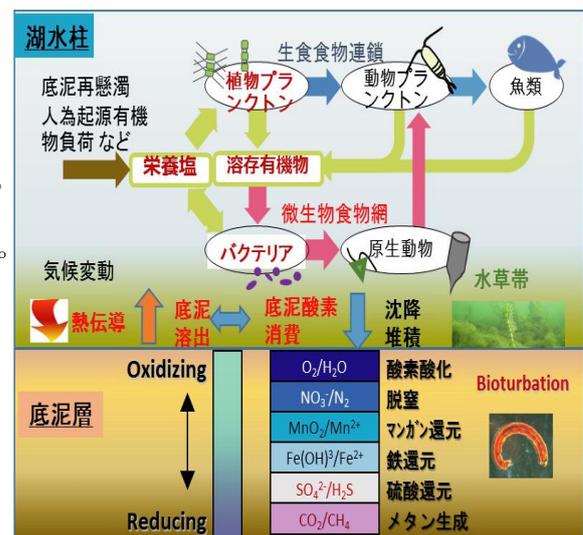
【課題解決に向けた対応】

1 有機物収支をモデルにより解析

- 湖水柱の食物連鎖モデルを高度化するために、各生物間の関係性を検討し、データを蓄積する。
- 開発した分析法等を駆使して、湖水や底泥間隙水中溶存有機物（DOM）の起源・特性を評価する。

2 底泥溶出とSODにかかる測定手法の開発

- 底泥間隙水 DOM の分子サイズを測定して、底泥溶出フラックスを算定する手法を開発する。
- 底泥酸素要求量（SOD）を定量的に測定する手法を開発する。SOD と底泥溶出等の関係性を評価する。



2. 研究内容と結果

【サブテーマ 1. 有機物収支に関する研究】

(1) 琵琶湖南湖における溶存有機物（DOM）の分子サイズ分布

自ら開発した全有機炭素検出分子サイズ測定装置（サイズ排除クロマトグラフィー）を用いて、琵琶湖南湖の溶存有機物（DOM）の分子サイズ分布を測定した（図 1(a)）。DOM は、多少の季節変動はある

1) 国立環境研究所、2) 琵琶湖環境科学研究センター

ものの、南湖全域で分子量約 10~11 万ダルトン (Da) の高分子画分 (植物プランクトンの光合成産物等、微生物が利用しやすい成分) と分子量 1500~2000Da 程度の低分子画分 (細菌の代謝産物等、微生物が利用しにくい成分) から成ることが明らかとなった (図 1(b))。各 DOM 画分の溶存有機炭素 (DOC) 濃度を測定したところ、高分子 DOM は夏季に増加傾向を示し、7 月に最大となった (図 1(c))。これは夏季に植物プランクトンの光合成産物が増加したためと考えられる。本結果から、琵琶湖南湖では、夏季の高分子 DOM 割合の上昇は、湖水での微生物活動の活性化を示していると考えられる。

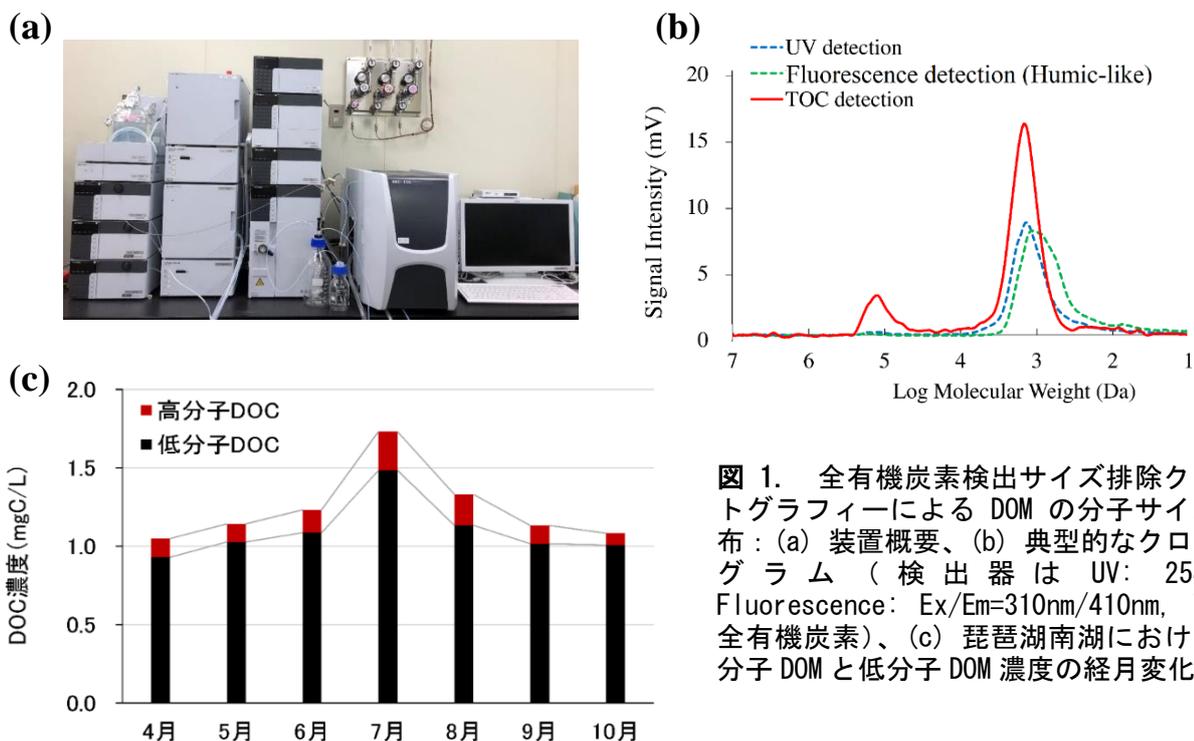


図 1. 全有機炭素検出サイズ排除クロマトグラフィーによる DOM の分子サイズ分布: (a) 装置概要、(b) 典型的なクロマトグラム (検出器は UV: 254nm, Fluorescence: Ex/Em=310nm/410nm, TOC: 全有機炭素)、(c) 琵琶湖南湖における高分子 DOM と低分子 DOM 濃度の経月変化。

(2) 細菌二次生産速度の測定と季節・地点別変化

我が国では使用が厳しく制限されている放射性同位体を用いる方法ではなく、自ら開発した安定同位体 (^{15}N) で標識したデオキシアデノシンを細菌に取り込ませる ^{15}N -デオキシアデノシン法を用い、琵琶湖における細菌生産速度の変動の定量的な評価を行った。2016 年 7 月から 2018 年 11 月まで毎月、琵琶湖北湖第二湖盆中央 (12B) において、7 深度で細菌生産を測定した。また、2018 年に 3 月、5 月、7 月、11 月の 4 回にわたり、北湖の多地点で細菌生産の同時測定を行い、季節及び地点別の変化を評価した。

細菌生産速度は $0.07 \sim 15.9 \mu\text{gC L}^{-1} \text{d}^{-1}$ の範囲で変動していた (図 2(a))。夏季の表層で高く、冬季の深水層では概ね $1 \mu\text{gC L}^{-1} \text{d}^{-1}$ と低い値を示した。細菌の呼吸速度は夏季に高く、冬季に低下した。生産速度と呼吸速度の和である細菌の炭素要求量は $1.7 \sim 118 \mu\text{gC L}^{-1} \text{d}^{-1}$ の範囲内で変動した。この値は湖水中の全有機炭素の分解速度 59 (max 86) $\mu\text{gC L}^{-1} \text{d}^{-1}$ と概ね整合していた。

細菌生産速度の変動要因を検討したところ、細菌生産速度と水温に有意な正の相関関係が明らかとなった (図 2(b))。20m 以深では生産速度は概ね一定であった ($< 1 \mu\text{gC L}^{-1} \text{d}^{-1}$)。2018 年 7 月に採取したサンプルで、細菌生産とリンの形態別濃度の関係を評価したところ、細菌生産速度は粒子状リン濃度と高い相関を示した (図 2(c))。従って、細菌へのリン供給源は主に粒子状リンであると示唆された。

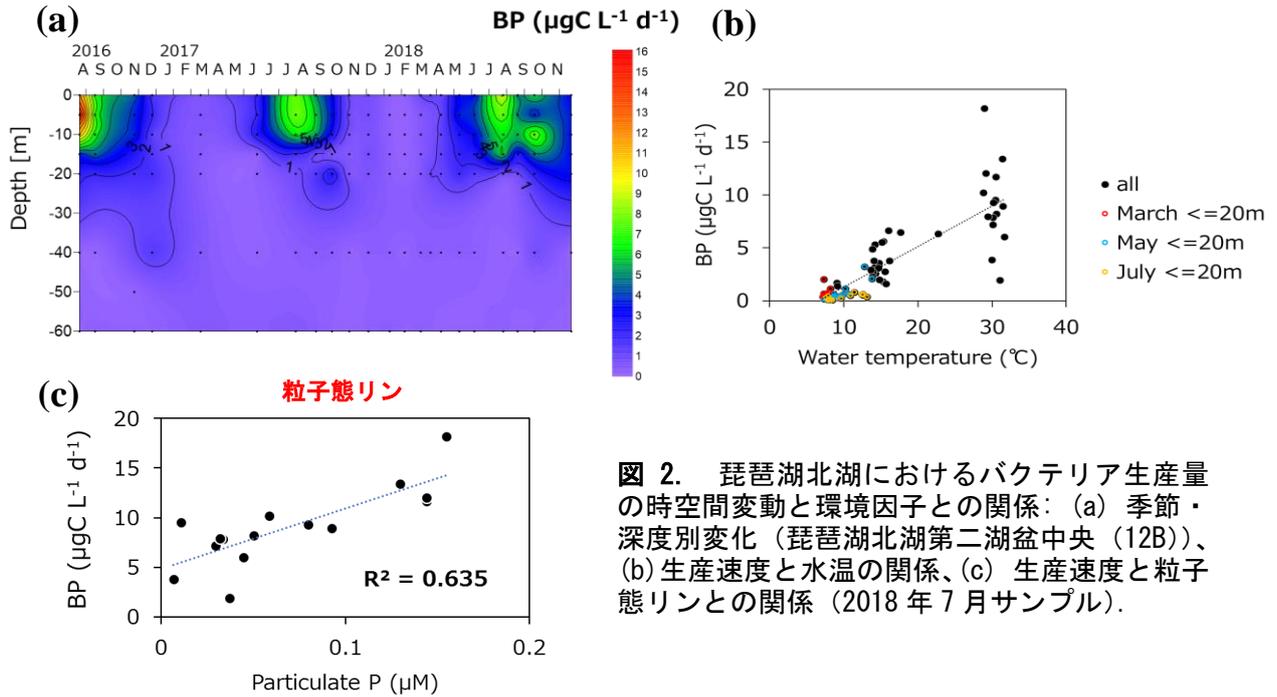


図 2. 琵琶湖北湖におけるバクテリア生産量の時空間変動と環境因子との関係：(a) 季節・深度別変化（琵琶湖北湖第二湖盆中央（12B））、(b) 生産速度と水温の関係、(c) 生産速度と粒子態リンとの関係（2018年7月サンプル）。

(3) 高速フラッシュ蛍光光度計を用いた藻類一次生産速度測定法の開発

植物プランクトンの光合成活性を測定する高速フラッシュ蛍光光度法（Fast Repetition Rate fluorometry, FRRf）を用い、湖沼の総一次生産量（GPP）を瞬時に現場測定するための、新たな方法の開発に着手した（図 3）。

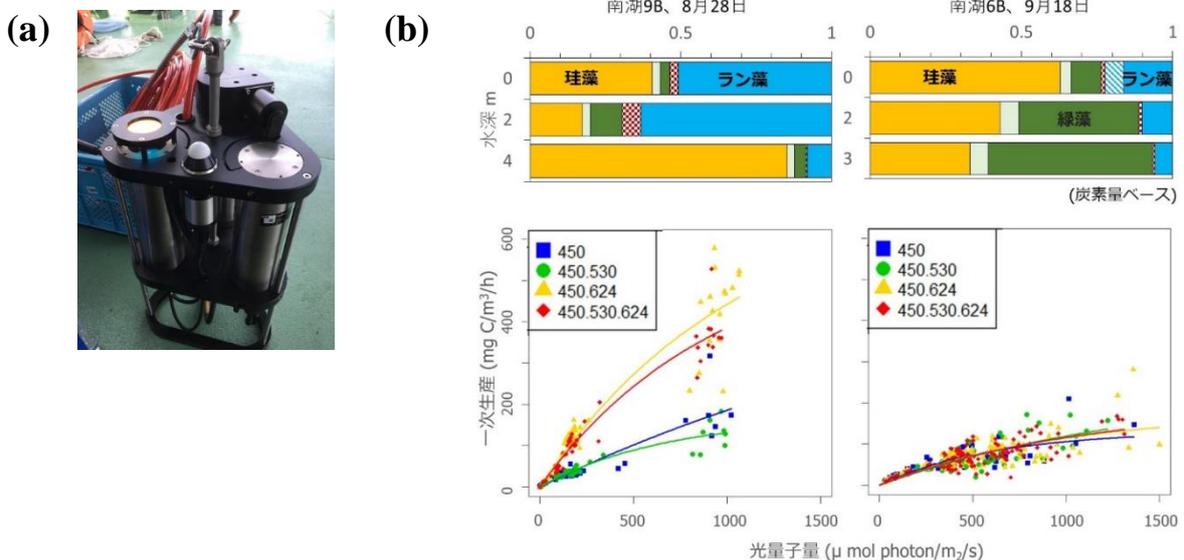


図 3. 高速フラッシュ蛍光光度計による藻類一次生産測定法（FRRf 法）の開発：(a) 測定装置 FastOcean、(b) 上段) 8月の南湖 9B、および9月の南湖 6Bにおける植物プランクトン群集組成（植物プランクトンの生物量を炭素量に換算して計算）；下段) FRRfによる GPP 推定値。450、530 および 624 nm はそれぞれ Chl-a、フィコシアニンおよびフィコエリスリンの励起波長。

FastOcean (CTG Ltd.、図 3(a)) は、新型の FRR 蛍光光度計であり、従来の Chl-a の励起波長 450 nm に加え、ラン藻の集光色素（フィコエリスリン、フィコシアニン）に対応する 530 nm および 624 nm の励

起波長を搭載し、アオコ発生時にも光合成活性を正しく測定できるとされる。そこで、2018年7月~2019年2月の琵琶湖北湖および南湖の計4観測点において、FRRfの励起波長を様々に組み合わせて観測を行った。図3(b)に、南湖における典型的な結果を2つ示す。8月は表層0~2mでラン藻群集が卓越し、励起波長450nmと530nmのみの場合、624nmを組み合わせた時よりも過小評価であった。珪藻や緑藻が卓越した9月では、励起波長の組み合わせ間で差は見られなかった。これらの結果から、ラン藻を含む植物プランクトン群集を対象としてFRRf測定を行う場合、励起波長450nmと624nmの組み合わせが有効であると示唆された。

【サブテーマ(2) 底泥環境の評価と底泥溶出および湖沼の底質改善に関する研究】

(1) バイアル方式底泥酸素消費量(SOD)測定法の最適化

小型バイアルを用いた底泥酸素消費量(SOD)の測定法(バイアル法)の改良に着手した。バイアルに封入した試水を攪拌する攪拌子を改良し、バイアルを用いたSOD測定においても試水の攪拌がコントロール可能なSOD用バイアルを作成した(攪拌バイアル)(図4(a))。この攪拌バイアルと従来の不攪拌バイアルを用いて、2018年11月に琵琶湖北湖安曇川沖中央(15B)、2018年の10月と2019年1月に今津沖中央(17B)でSODの比較実験を行った。その結果、全ての実験で、攪拌によってSODが大きく

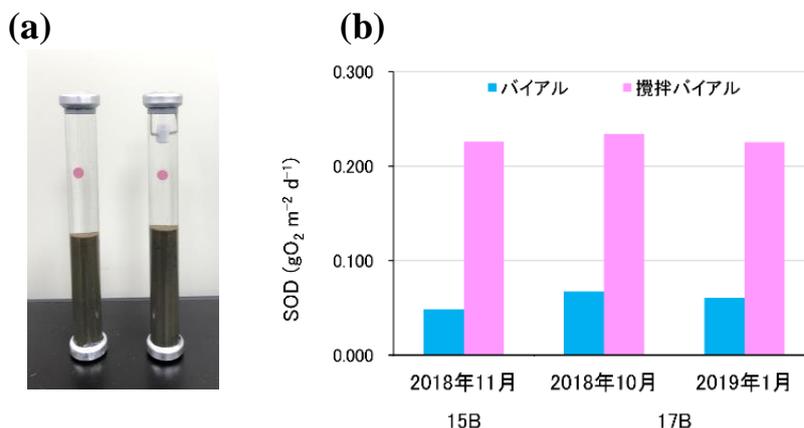


図4. SOD測定用バイアル(左)とSOD測定用攪拌バイアル(右)。バイアル内上部に取り付けた攪拌子を外部磁石により回転させることで試水を攪拌することができる。

増加することが明らかとなった(図4(b))。しかし、攪拌によるSODの増加率は調査地点で異なっており、15Bの増加率は17Bに比べて大きくなった。これら結果から、SOD測定には底泥表面の有機物の量や底生生物の呼吸量の他に、攪拌による底泥間隙水の移流が関係している可能性が示唆された。

3. まとめ

- 琵琶湖南湖で溶存有機物(DOM)の分子サイズを全有機炭素として測定した。南湖DOMは約10~11万ダルトン(Da)の高分子画分と1,500~2,000Daの低分子画分から成ることが明らかになった。
- 琵琶湖北湖における細菌二次生産速度の季節・地点別の変動を評価した。細菌生産速度は夏季の表層で高く冬季の深水層で低い値を示した。細菌生産速度は水温と粒状態リン濃度が高い相関を示した。
- 藻類一次生産を測定する新たな手法として、高速フラッシュ蛍光光度法(FRRf法)の採用を検討した。ラン藻を含む植物プランクトン群集対象の一次生産速度を適切に測定することができた。
- バイアルを用いた底泥酸素消費量(SOD)測定法において試料攪拌の影響を検討した。結果、試水を攪拌することでSODが顕著に増大することが明らかとなった。