

琵琶湖の生態系評価とその再生に関する研究

焦 春萌・石川可奈子・酒井陽一郎

1. 目的

琵琶湖には、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にあるとは言えない。近年、南湖の水草の異常繁茂による環境悪化、湖流の停滞、湖底の泥化の進行より、湖底の溶存酸素濃度が低下する。また、南湖の湖底には、砂利採取などにより深い湖底穴が多数形成され、これらの深い湖底穴においては、夏に貧酸素や無酸素状態になる。これらの貧酸素や無酸素状態は、湖底の環境悪化や生態系に与える影響が危惧される。また、外来魚の繁殖、水草の大量繁茂とともに、かつての広大な砂地が、砂利採取によりなくなることによって南湖が本来有する在来水生生物の生息地が失われる恐れがある。また、猛暑や強い台風などの異常気象は琵琶湖南湖の物理環境および生態系に大きな影響を与えていると推測される。そこで、本研究では、本研究の成果に基づき、国環研の研究成果と合わせて、南湖生態系の管理と再生、在来魚の回復に向け、適切なモニタリング内容や体制等を提案する。

2. 研究内容と結果

●方法

本研究では、2017 年夏に、自動連続観測機器により、南湖を南北方向に縦断する線上 (S1～S5) (図 1 参照) で観測を連続で行った。湖底直上の水温・D0 濃度の時間・空間変化の詳細な構造を把握するために、S1～S5 のそれぞれ湖底直上 0.5 m において測定精度 $\pm 0.002^{\circ}\text{C}$ の水温計 (RBR 社製の高精度水温計)、測定精度 $\pm 1\%$ の D0 計各 1 台を設置した。



図 1 琵琶湖南湖における調査地点および観測機器配置図

(国土地理院の地理院地図に調査地点、観測機器配置図を追記して掲載)

また、南湖水温の鉛直分布を把握するため、S1においてサーミスタチェーン（水温計の水深間隔は、1mである）を設置した。また、数理モデル開発のため、大津気象観測所のデータを使った。琵琶湖南湖の鉛直成層特徴を表すため、鉛直方向に1m毎に分割し、水平方向に500m×500mのメッシュにした。

●結果

図2で示すように、水深5.5mのS1の湖底直上0.5mにおいて、2017年9月～10月中旬に時々一時的に貧酸素状態（溶存酸素は、2mg/lより低い状態）になることが分かった。その後、水温が徐々に低く、乱流も強くなるとともに、溶存酸素は回復した。

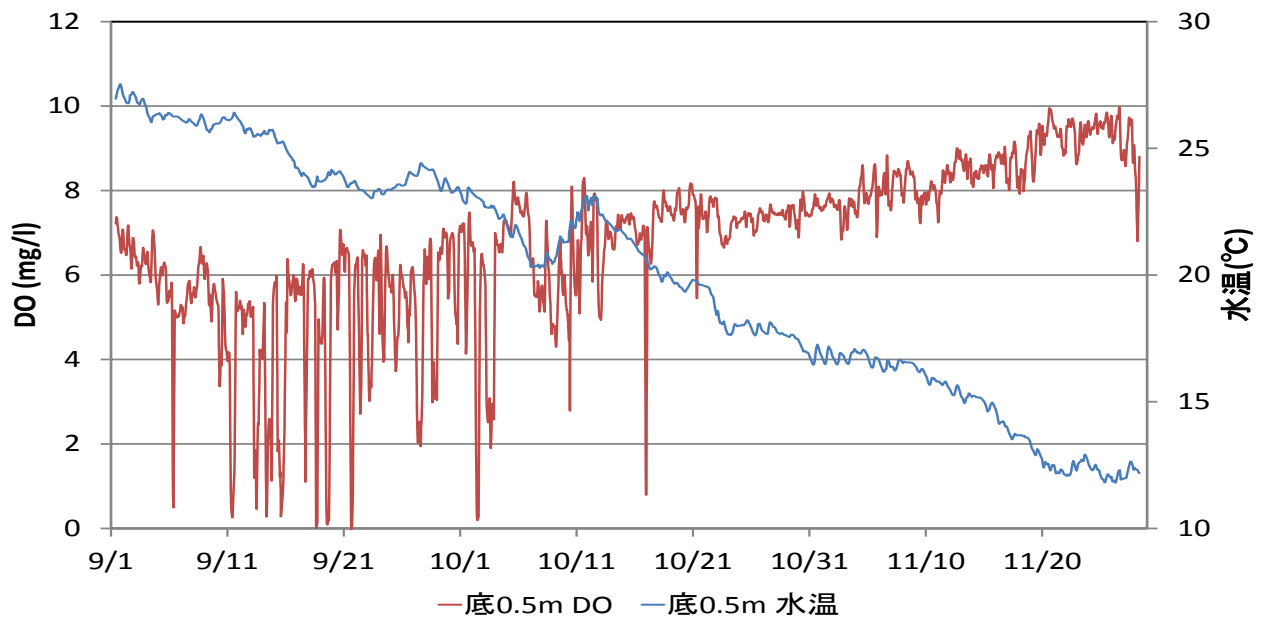


図2 2017年9月～11月、S1（水深6m）における湖底直上0.5mの水温およびDO

南湖は、なぜ時々一時的な貧酸素状態になるか？その仮説の影響因子は、水草の大量繁茂による湖流の停滞、風による流れの状況、湖水の成層状況、瀬田川洗堰の放流量などが考えられる。

図3の上図は、風のベクトル図を示す。風の応力は、式1を示す。

$$\tau_0 = \rho_a C_D W^2 \quad (1)$$

ここで、 τ_0 は湖面に作用する風の応力、 ρ_a は空気の密度、 C_D は、無次元常数で湖面の抵抗係数、 W は、風速である。夏の南湖の風は、弱く、その湖面応力も弱いため、風と貧酸素とは、明確な関係がないようである。

また、表層と底層の水温の差が大きければ大きいほど成層が強いではあるが、成層が強いところ（図3）でも、DOが低くならない。

南湖湖底のDOに影響を与える影響因子の相互作用が考えられるので、そのメカニズムを把握するため、現場調査だけではできなく、数理モデルでの数値実験が必要である。そのため、本研究は、琵琶湖の3次元生態系モデルと3次元湖流系モデルをそれぞれ構築した。その相互作用を把握するため、この二つのモデルを統合し、3次元生態系と湖流系の統合化動力学モデルを構築した。

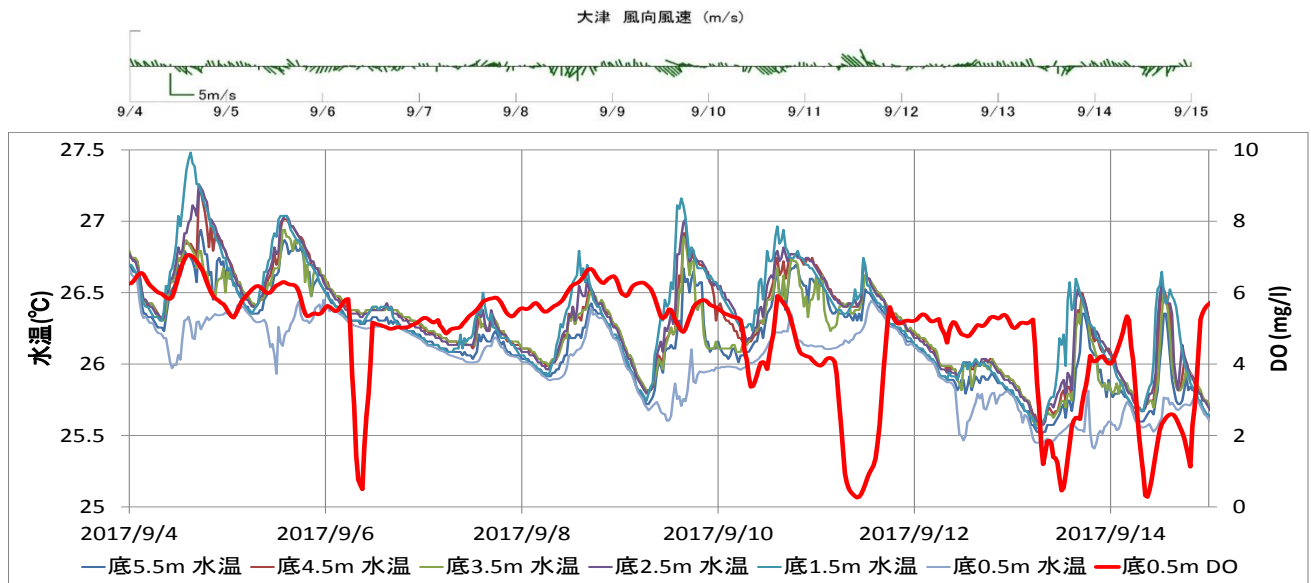


図3 2017年9月4日～15日、大津観測所の風向・風速（上図）、S1における湖底直上0.5mのDO（太赤線）および湖底から0.5m, 1.5m, 2.5m, 3.5m, 4.5m, 5.5mの水温。

生態系モデルについて、生態系モデルの変数は生態系の構成要素として取り扱う変数であり、状態変数と呼ぶ。本生態系モデルの主な状態変数は、無機態窒素（N）、無機態リン（P）、植物プランクトン（ M_1 、 M_2 、 M_3 ：珪藻、藍藻、緑藻およびその他の植物プランクトン）、動物プランクトン（Z）、デトリタス（D）、溶存態有機物（C）、溶存酸素（DO）、および底泥からの栄養塩の溶出（ N_{sed} 、 P_{sed} 、 C_{sed} ：底泥からの無機態窒素（N）、無機態リン（P）および溶存態有機物（C）の溶出）が考慮されている。

湖流系モデルについて、気象条件は、降水量、気温、風速および植物プランクトンの光合成に関係し、また、湖面熱交換を関係する全天日射量などのデータが必要である。3次元生態系モデルとこの3次元湖流系モデルと統合し、湖流系と生態系の統合化動力学モデルで同時に計算した。

琵琶湖の唯一の流出河川である瀬田川における洗堰の放流量が南湖の底層DOに与える影響を把握するため、洗堰の放流量をそれぞれ $100\text{m}^3/\text{s}$ と $400\text{m}^3/\text{s}$ にする場合、南湖の底層DOがどう変わるかについて、この3次元生態系モデルと3次元湖流系モデルの統合数値モデルで、数値実験を行った。その結果、洗堰の放流量を $100\text{m}^3/\text{s}$ にした場合の南湖の流れは、 $400\text{m}^3/\text{s}$ にした場合より、弱く、また、洗堰の放流量が $100\text{m}^3/\text{s}$ にした場合の南湖のDOは、 $400\text{m}^3/\text{s}$ にした場合より、低く、底層で貧酸素になりやすいことが分かった。

3. まとめ

- 物理環境の空間分布調査の予備調査を行い、夏に南湖湖底では、時々一時的に貧酸素状態になることが分かった。
- 夏に南湖の風は、北湖より弱く、それにより湖面に作用する風の応力は、はるかに弱い。
- 南湖の流れは、北湖よりかなり弱い。
- 数値実験によると、南湖洗堰の放流量は、南湖の流れに大きく影響する。
- 南湖の流れは、湖底の溶存酸素状態に影響することが示唆された。