

第II部門 霞ヶ浦における水温成層の形成が溶存酸素濃度低下に及ぼす影響に関する基礎検討

大阪大学工学部 学生員 ○永井 椋 大阪大学大学院工学研究科 学生員 Yueyi Wang
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 奥田 雅貴 大阪大学大学院工学研究科 正会員 入江 政安

1. はじめに

富栄養化湖沼における貧酸素水塊の発生は湖内環境をさらに悪化させ、生物の生存を脅かす大きな問題である。本研究で対象とする霞ヶ浦においても貧酸素化が度々発生している。水深の浅い霞ヶ浦では日単位での発生消滅を繰り返す水温の日成層が貧酸素化に影響すると考えられている。成層の継続時間が貧酸素水塊の発生および消滅に関係している可能性が示唆されているものの、その形成過程や複雑な挙動をモデルにより正確に再現することは簡単ではない。本研究では、底層に発生する貧酸素水塊の挙動解析を目的として、3次元流動水質モデルによって水温および溶存酸素濃度(DO)の変動の再現を行い、湖上風と水温成層がDO低下に及ぼす影響について解析を行った。

2. 解析手法

本研究では、日成層や吹送流に伴う鉛直混合など、不安定で規模の小さい現象を扱うため、人工拡散による誤差発生を抑えることが必要であり、成層界面で高い解像度が得られるz座標系が適している。本研究ではz座標系を採用できる3次元流動水質モデルDelft-3D²を用いて解析を行った。水平座標系には直交座標系を採用した。

3. 対象領域と計算条件

図-1に示す霞ヶ浦は茨城県南部に位置する淡水湖であり、西浦、北浦、外浪逆浦とそれぞれを繋ぐ常陸川、鯉川の5領域から構成される。約220km²の広い湖面積に対して平均水深は約4mと浅い。常時流量観測が行われている主要7河川の合計流量は全流入量の約40%に過ぎず、多くの河川から分かれて流入している。

計算期間は2017年1月1日からの1年間、鉛直方向メッシュは最大水深に対して50層に分割し、湖心では28層、神宮橋では15層である。流入境界は7か所に設け、中小河川の流量を付近の流入境界に加えることで計40河川を考慮した。流出境界は利根川につながる常陸川の



図-1 対象領域と再現性検証地点

1か所である。気象条件には風、気温、相対湿度、雲量を空間分布で与えた。

4. モデルの再現性検証

湖心の計算水温は、7月の底層において観測値を2℃下回り、9月の表底層において2℃上回る結果となり、やや大きな差が認められた(図-2)が、他の期間では比較的良好な結果が得られた。気温や日射の影響を受け、日

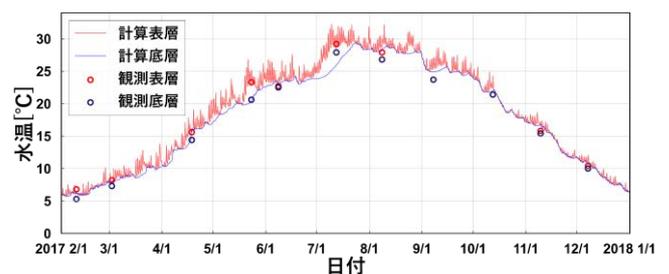


図-2 湖心の水温の季節変動

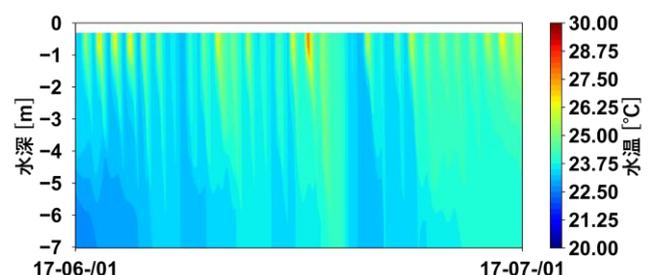


図-3 湖心の水温のイソプレット(6月)

中に上昇した表層水温が夜間に鉛直混合される日成層も現れており、定性的には再現できている (図-3)。これらの結果から、晴天日には日成層が形成され、夕方以降に5 m/s 程度以上の風が4~5 時間連吹すれば、完全な鉛直混合が起きることを示唆している。また、無風状態の計算を合わせて実施した結果、夏季においては風が吹くことにより、湖心表層で無風条件に比べて約3~4℃の水温低下が起きていた。無風では成層化が進み、風により鉛直混合が発生しやすい構造であることが示された。

図-4 に2017年9月までの湖心における表底層のDOの季節変化を示す。底層の計算DOの季節変化は観測値と同じ傾向を示し、短期間のDOの急低下も表現できるモデルとなっていることがわかるが、定量的な再現には課題が残されている。

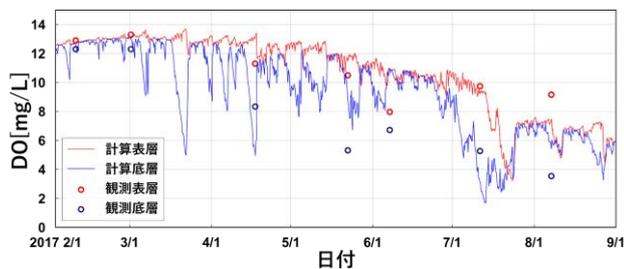


図-4 湖心におけるDOの低下の様子

5. 日成層が底層DOに及ぼす影響

底層におけるDO濃度の低い水塊の発生および消滅に水温成層や風が与える影響の解析を行った。図-5に2017年4月14日から5日間の湖心地点の水温およびDOのイソプレットを示す。水温の日成層が形成されるとき、最初に午前中から水温成層が発達する。午後から夕方にかけて太平洋側からの海風フロントが到達し、強風となることが多く³⁾、この風により成層が破壊されることが多い。風が弱く成層が破壊されずに残ると、翌日の水表面からの熱供給が加わり、成層がより強固になる。酸素低下が起きやすい底層では、複数日にまたがることでより一層酸素低下が進行する。DOの鉛直分布の変化は水温のそれと一致しており、水温成層が底層へのDO供給を阻害していることがわかる。図-6に示した同地点での風速を見ると、4月16日の約3時間吹送した風では成層は破壊されず、18日の0時ごろから約10時間吹送した風は全層を短時間で混合している。このことから、水温成層の持続時間や貧酸素水塊の生成消滅過程に湖上風の風速、

吹送時間が大きく関係していることが示唆される。

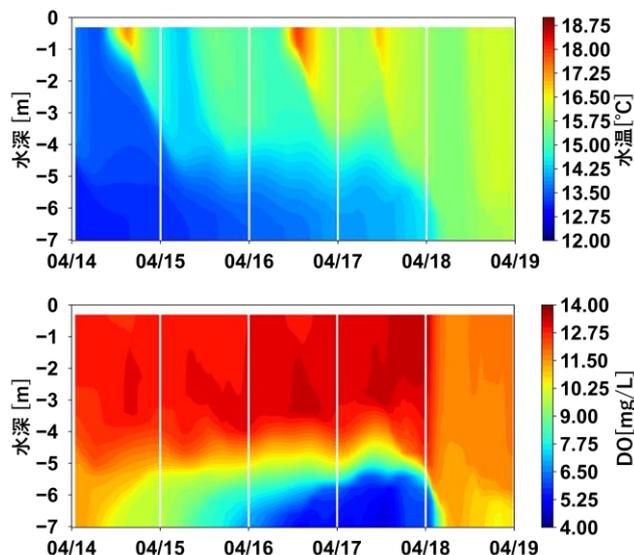


図-5 湖心の水温とDOのイソプレット
(上：水温 下：DO)

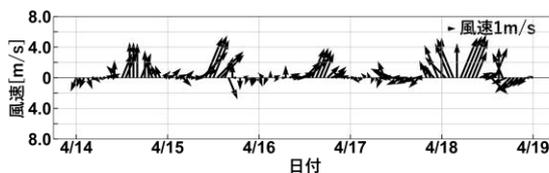


図-6 湖心の風速

6. まとめ

本研究では3次元流動水質モデルDelft-3Dを用いて霞ヶ浦を対象に底層に発生するDO低下の再現実験を行った。水温成層が複数日にまたがることで底層において酸素低下が継続し、強風の継続により鉛直混合が生じることで底層DOが回復する過程を再現した。他の水質項目については季節的な変動は捉えられているものの、正確な再現には至っておらず計算条件の修正やパラメータ調整などを今後実施していきたい。

謝辞：本研究は、JST国際科学技術共同研究推進事業（戦略的国際共同研究プログラム）JPMISC1804により実施されたものである。記して深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) 小松伸行, 石井裕一, 渡邊圭司, 本間隆満, 北澤大輔: 霞ヶ浦における貧酸素水塊の挙動と解析, 水工学論文集, Vol. 54, 2010
- 2) Delft Hydraulics: DELFT3D-FLOW, A simulation program for hydrodynamic flows and transport in 2 and 3 dimensions; release 5.06,
- 3) 石川忠晴, 田中昌宏, 小関昌信: 浅い湖の日成層が水質に及ぼす影響, 土木学会論文集, Vol. 411, 1989