

びわ湖の水位変化の解析

京都大学大学院人間・環境学研究科 *岩木真徳
立命館大学 熊谷道夫
元・生物流体力学研究所 西 勝也
滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 焦 春萌

1. はじめに

湖の水位はさまざまな要因によって変動している。例えば、表面波動(静振, 風波), 降水(湖面, 集水域, 地下水), 蒸発, 流出などがあげられる。この中で、短時間にもっとも大きな変動を引き起こすのが降水である。本研究では、びわ湖で測定した水位データの変動から、集水域に降った降水が河川を通して湖に流入する割合を評価することを試みる。

2. 方法

2.1 湖面の水位変動

湖面の水位変動を以下の式で表す。ただし、 P_j は時間遅れ τ_j を含んでいる。

$$\Delta\eta = \sum_j \alpha_j P_j \frac{S_j}{S} \Delta t + P\Delta t + \frac{\varepsilon}{S} \Delta t \quad (1)$$

ここで、 $\varepsilon = Q_{out} \pm G - E$ とする。

η : 水位, t : 時間, α : 流達率, τ : 時間遅れ, S : 面積, Q_{out} : 流出量, G : 地下水量, E : 蒸発量。

2.2 観測と使用データ

2010年5月から2012年5月まで、滋賀県大津市柳ヶ崎の湖岸にて水位と降水量の観測を行った(図1)。水位測定間隔は2分(2011年11月より1分)、降水量の測定間隔は10分である。水位計(図2)は、2本の線(テフロン線とステンレス線)を並行して張り、水深とCR発振回路のパルス幅が線形関係にあることを用いて計測している。雨量計(図3)は転倒マス式雨量計を用いた。

その他に、国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所の瀬田川洗堰の放流量データを使用した。気象庁の気象観測データ(滋賀県内の全12点)を使用した。

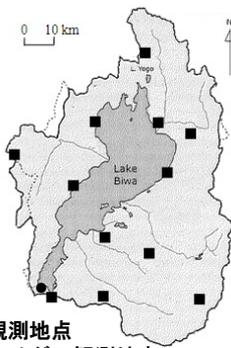


図1 観測地点

(使用したアメダス観測地点: 大津, 彦根, 今津, 長浜, 南小松, 米原, 東近江, 信楽, 土山, 朽木平良, 柳ヶ瀬, 近江八幡)



図2: 水位計



図3: 雨量計

3. 結果

びわ湖とその集水域に降水が一様であったと仮定したときに、びわ湖の水位上昇のうちで降水が河川を通して寄与する割合は概算すると33%程度となるが、実際ところはどれぐらいなのであろうか。

そこで、蒸発量の少ない時期で滋賀県全域に降水があった降水事象にて推定河川流出率を算出した。

まず、(1)式における Δt を静振の卓越周期とするために、期間中の水位のスペクトルを計算した(図4)。次に、算出した静振の卓越周期で水位の移動平均をとり、その水位から降水量を引いたものを推定河川流量とした。2011年5月10-13日の降水事象にて算出された時間遅れ τ は、約50h、推定河川流出率は、約20%程度となった(図5)。

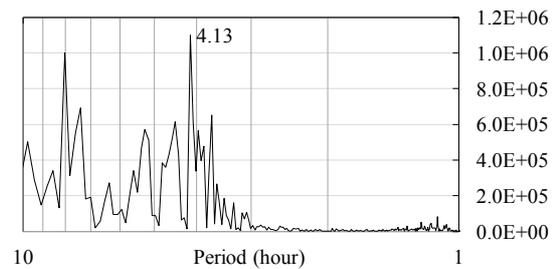


図4: 静振の卓越周期の算出 (N=8192, dt=120, Program C)

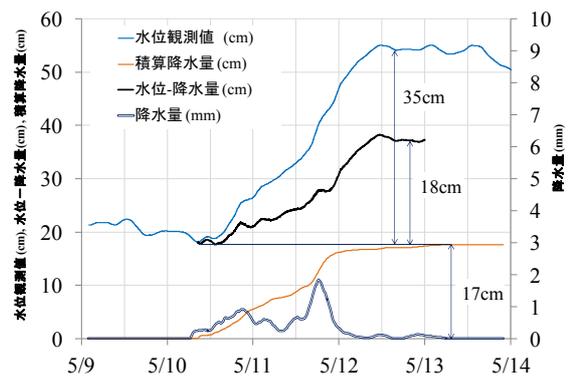


図5: 2011年5月10-13日の降水事象

4. まとめ

びわ湖集水域において、降水が河川を通じて湖に流入する割合を算出したところ、春季の降水事象では、おおよそ20%となった。今後は、流域単位での検証を行うとともに、積雪や融雪を含んだ複雑な冬季の降水事象を含めて、年間の推定河川流出率を算出し、その応答関数を求める。

参考文献: [1]吉村信吉, 湖沼学-増補版-(1976), 生産技術センター. [2]山本莊毅, 陸水(1968), 共立出版. [3]新井正, 地域分析のための熱・水収支水文学(2004), 古今書院

琵琶湖におけるウランの濃度変動と物質収支

*望月陽人， 杉山雅人（京大院・人間環境）

1. はじめに

自然水中ならびに水/堆積物間におけるウランの挙動の解明は、水圏における放射性物質の移行・蓄積を予測するという観点から重要である。これまでのわれわれの研究から、琵琶湖北湖の表層における溶存態ウラン濃度は初春から夏にかけて増加し、初秋から冬にかけて減少することが明らかになっている。また、この濃度変動には湖水の pH 変動にともなう堆積物からの溶脱と吸蔵、すなわち内部負荷が寄与していることが、室内実験から示唆された。以上の内容は、昨年度の本学会で発表した。

本報告では、琵琶湖での継続的な観測に加えて流入河川や降雨の採水も行い、濃度データと水文データから外部負荷量を見積もる。さらに、実験により堆積物・懸濁物質からのウラン溶出速度を算出し、内部負荷量を見積もる。これらの結果から、湖内でのウランの物質収支について検討する。

2. 材料と方法

琵琶湖北湖・近江舞子沖の Ie-1 地点(水深約 73 m)において、2011 年 2 月から 2012 年 6 月にかけて月 1 回の観測を行った。湖水はニスキン採水器で、湖底堆積物はエクマンバージ採泥器で採取した。また、2012 年 5 月には北湖に流入する 14 河川の水を、2012 年 7 月には降雨を採取した。

堆積物からの溶出実験は次のようにして行った。持ち帰った湖底堆積物を水槽に敷き詰め、上からろ過湖水を静かに注いだ。窒素・酸素・二酸化炭素の混合気体を、その混合比を変えながら通気して、湖水の pH を変動させた。pH 変動に起因する水相中のウラン濃度の変化量から、溶出速度を算出した。

懸濁物質からの溶出実験は次のようにして行った。採取した湖底堆積物を乾燥・粉碎したのちろ過湖水に加え、振とうにより懸濁化させた。振とう時間に対する水相中のウラン濃度の変化量から、溶出速度を求めた。

上記試水はすべて孔径 0.45 μm のポリフッ化ビニリデン製フィルター (Millex) でろ過したのち、超高純度硝酸を添加して保存した。試水中のウラン濃度は誘導結合プラズマ質量分析法で測定した。

3. 結果

Ie-1 地点の、深度 0 m (表層)、40 m (表層)、70 m (深層) におけるウラン濃度の変動を図 1 に示す。2011・12 年ともに、循環期の間は鉛直方向に均一な濃度を示した。停滞期の表層では、上述した濃度変化が顕著に見られた。一方、中層ならびに深層の濃度は緩やかに減少する傾向を示した。

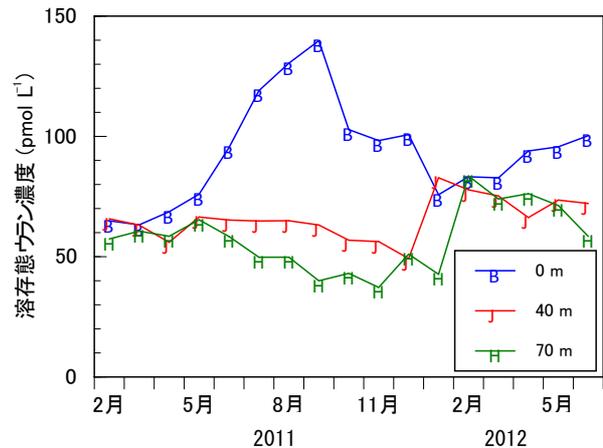


図 1. Ie-1 地点におけるウランの濃度変動

琵琶湖北湖に流入する 14 の河川水において流量加重平均濃度を求め、 166 pmol L^{-1} を得た。また、雨水中のウラン濃度は 4.7 pmol L^{-1} であった。

4. 考察

上記の測定結果と水文データからウランの外部負荷量 (M_{in}) と流出量 (M_{out}) を、また溶出実験の結果から内部負荷量 (IL) を見積もった。これらを次の物質収支式に代入し、ウラン物質質量の変化 (ΔM) を求めて、実測値との一致を確かめた。

$$\Delta M = M_{in} - M_{out} + IL$$

ウランの供給が外部負荷のみ、すなわち $IL=0$ であると仮定して計算を行ったところ、循環期の濃度増加のうち約 30 % しか説明できなかった。しかし、実験で求めた堆積物・懸濁物質からの溶出速度をもとに内部負荷量を算出して式に含めると、濃度増加の約 90 % が説明できた。このとき、内部負荷量は外部負荷量のおよそ 2 倍であり、北湖におけるウランの濃度変動は主として内部負荷に起因することが示唆された。

琵琶湖北湖底泥表層におけるマンガン・ヒ素の経年的濃度上昇とその供給源

*板井啓明 (愛媛大沿環研セ), 熊谷道夫 (琵琶湖環境研セ、立命館大Σ研究セ), 兵部唯香, 早瀬大輔, 田辺信介(愛媛大沿環研セ)

1. はじめに

琵琶湖底泥表層には、Mn・As などの微量元素の濃集層の存在が予め指摘されてきた (Takamatsu et al., 1985)。この濃集層は、底泥中での Mn・As の還元的溶解と上方への拡散、底泥表層における Mn・As の酸化的沈殿・吸着により形成されたと考えられている (Takamatsu et al., 1985)。現在琵琶湖では湖底の最低溶存酸素濃度の経年的な減少が観測されており (Yoshimizu et al. 2010)、湖底の Mn・As 動態にも変化を与えている可能性がある。本研究では、近年にかけての Mn・As の動態変化について検討するため、北湖底泥の微量元素濃度の鉛直分布を調べ、結果を 1976 年のデータと比較した。また、湖底の Mn・As の収支を見積もるため、既報のデータを参考にマスバランス計算を試行した。

2. 材料と方法

化学分析: 2009 年の 6 月と 12 月に、琵琶湖北湖の 7 地点で底泥コア試料を採取した (Fig. 1)。試料採取時に、採取地点付近の湖水の溶存酸素濃度、pH、温度の深度分布を CTD で測定した。コア試料は、5 mm 間隔でスライスし、凍結乾燥・粉碎後、フッ酸・硝酸を用いてマイクロ波加熱分解装置で酸分解した。分解液中の Mn・As を ICP 質量分析計で定量した。また、凍結した底泥試料中の Mn・As の化学形態を、Photon Factory BL9A において、X 線吸収微細構造法(XAFS)で分析した。

3. 結果と考察

鉛直分布の比較: 底泥中の Mn・As 濃度は、表層付近で著しく高い傾向を示した (Fig. 1)。0 - 0.5 cm までの濃度は、Mn で 2700 - 27000 mg/kg、As で 51 - 780 mg/kg であった (Itai et al. 2012)。この結果を 1976 年のデータと比較したところ、全 7 地点で表層の Mn・As 濃度が 1976 年よりも顕著に増加していることが明らかになった。

底泥表層の Mn の形態は、濃集層が認められることから Mn 酸化物が主体と考えられた。しかし、B・D 地点で採取した試料の XAFS 分析の結果、0 - 0.5 cm においても主要な形態は Mn²⁺であり、Mn 酸化物は 6 月の B 地点でのみ検出された。この理由として、(i) Mn 酸化物濃集層の厚みが 0.5 cm 以下、(ii) サンプル保存時・XAFS 分析時の Mn 酸化物の還元、などが考えられる。As は、B・D 両地点において、表層ではヒ酸、深部では亜ヒ酸ないし硫化物態が主体であった。ヒ酸は亜ヒ酸と比較して粒子吸着性が高いため、底泥表層の酸化層に濃集したと考えられる (Itai et al. 2012)。

Mn・As の供給源: 1976 年から 2009 年にかけて増加した Mn・As の供給源を明らかにするため、マスバランス計算を実施した。計算の結果、底泥表層に固定された Mn の全量は 1.2×10^8 mol (約 6800 トン)、

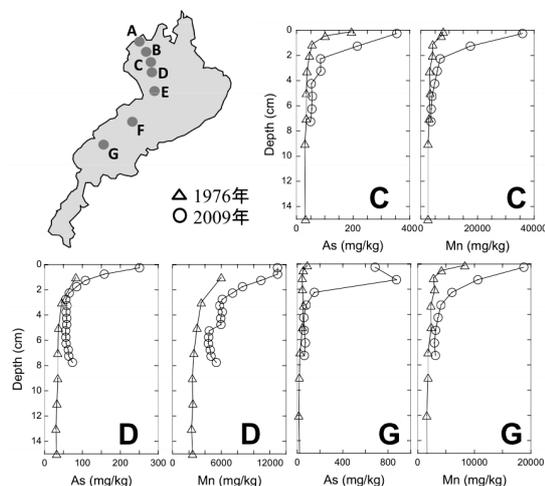


Fig. 1. Sampling locations and depth profile of As and Mn at sites C, D, and G. The data of 1976 and 2009 were plotted.

As の全量は 2.7×10^6 mol (約 20 トン) であった。1976 年のデータと比較すると、底泥表層での Mn・As の増加率はそれぞれ 240-750%、150-1300% 程度である。したがって、過去 33 年間の間に、数 1000 トンオーダーの Mn と数トンオーダーの As が、何らかの形で湖底に供給されたと考えられる。

Mn・As の供給源を調べるため、Mito et al. (2004) で推定された溶存微量元素フラックスを用いてマスバランス計算を試行した。本報告によれば、Mn と As の主要な供給経路は河川からの流入であり、年間の流入量はそれぞれ 1.1×10^5 mol、 3.7×10^3 mol 程度である。底泥表層に固定されている Mn 量は 10^8 mol のオーダーであるため、河川からの流入で増加分を説明するのは困難である。このことから、増加分は地下から供給されている可能性が高い。2012 年に測定した北湖 7 地点における底泥間隙水のデータを基に、地下水中の平均 Mn 濃度を $1000 \mu\text{g L}^{-1}$ (18.2 μM) とし、地下水の最大推定フラックス ($1.3 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$) を乗じると、Mn のフラックスは $2.3 \times 10^7 \text{ mol year}^{-1}$ であるため、1976 年以降の 33 年間で 10^8 mol オーダーの Mn を供給できると考えられる。As についても同様に、地下水が主要な供給経路である可能性が高い。ただし、琵琶湖に流入する地下水フラックスの推定値には不確かさが多く、今後より詳細な検討が必要である。また、近年北湖湖底からの流体噴出が観測されるようになっており、この現象と Mn・As 濃度上昇の関連についても検討が必要である。堆積物表層の Mn・As は還元環境下で溶解できる形態であるため、現在北湖で進行している貧酸化が深刻化すると、湖水中 Mn 濃度の上昇も懸念される。したがって、Mn・As の供給源と貧酸化にとりもなう動態変化の継続的調査が必要である。

台風による琵琶湖深水層における溶存酸素の回復効果の検討

* 焦 春萌・青木 眞一・石川加奈子・井上栄壮・早川和秀

(滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)

1 はじめに

深水湖の琵琶湖において、近年、地球温暖化による全循環不全、成層強化などにより、深湖底の低酸素化問題が厳しくなって、原因究明と対策が求められている。2006年度には記録的な暖冬による冬期鉛直混合の異常がみられ、例年の1~2月に観察される全循環が起こらず、3月下旬になって、深底部の溶存酸素濃度がなんとか回復するという事象が生じた。本研究では、北湖深湖底における溶存酸素の季節変化、年季変化の駆動力を明らかにするため、第1湖盆に設置した自動連続観測機器による水温、溶存酸素のデータ、および琵琶湖環境科学研究センターの定期調査による水温、溶存酸素のデータを解析し、台風が深湖底の低酸素化問題へ与える影響を解析した。

2 方法

本研究では、2010年から2011年まで琵琶湖北湖の第1湖盆の中心地において、N3、N4、N5の3地点(水深90m)の湖底から1mに高精度自動連続観測機器

による水温、溶存酸素のデータ、ADCP(超音波流向・流速計)による流れのデータを続けて取っている。また、水深別0m、5m、10m、15m、20m、30m、40m、60m、溶存酸素、水質の調査を続けて行っていた。これらのデータは湖内データとして使った。気象データとしては、彦根気象台のデータを使った。

3 結果と考察

図1Aで示すように、2010年度、琵琶湖深湖底のN3における湖底から1mの溶存酸素濃度の変化から台風の影響を見ると、台風9号(9月8日)、台風12号(9月25日)の影響に限られるが、台風14号(10月30日)の前の冬季型気圧配置(10月26日)による強風の影響が顕著であったことが分かる。また、図1Bで示すように、2011年度N4における溶存酸素濃度の変化から台風の影響を見ると、台風6号(7月19日)の影響があったが、台風12号(9月3日)、台風15号(9月21日)の影響に限られることが分かる。台風の影響の更なる研究が必要である。

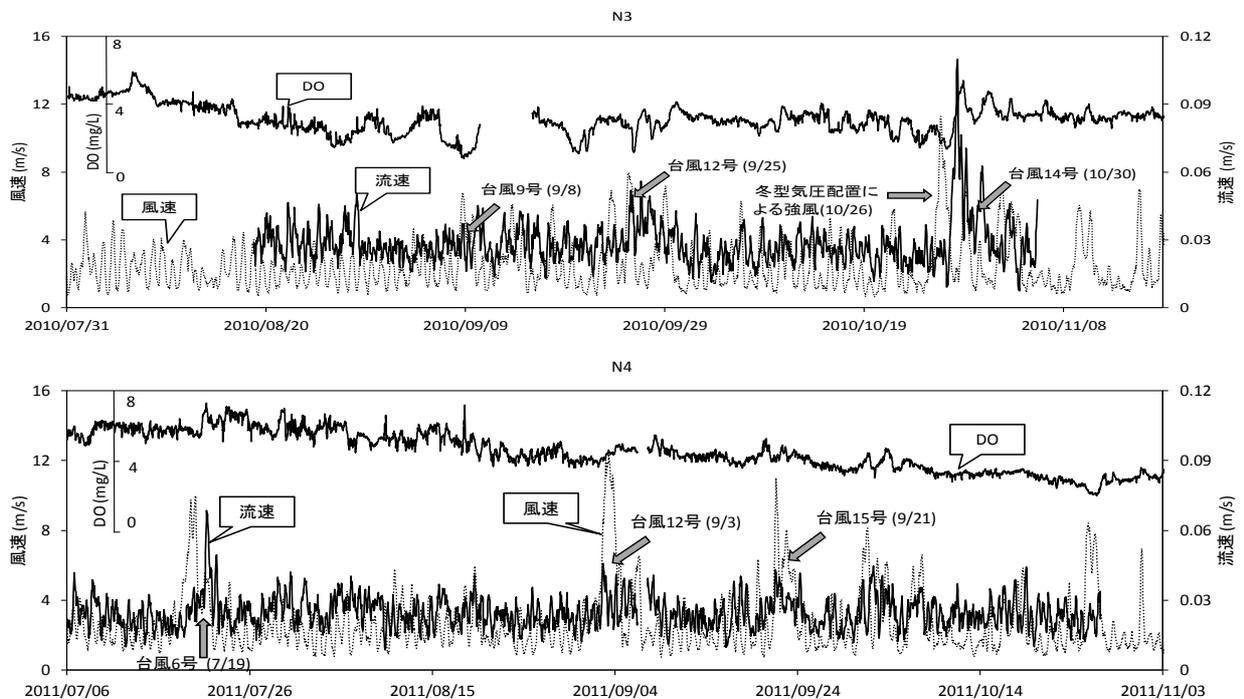


図1 A: 2010年度、琵琶湖深湖底のN3における湖底から1mの溶存酸素濃度、流速および湖面風速の変化。 B: 2011年度、琵琶湖深湖底のN4における湖底から1mの溶存酸素濃度、流速および湖面風速の変化。矢印は、台風が琵琶湖付近を通過する時期である。

琵琶湖北湖沿岸域の様々な基質における付着藻類の現存量と光合成

*石田 典子 (名古屋女子大学), 宗宮 麗 (長崎大学), 三田村 緒佐武 (滋賀大),
後藤 直茂 (滋賀県立大学湖沼環境実験施設)

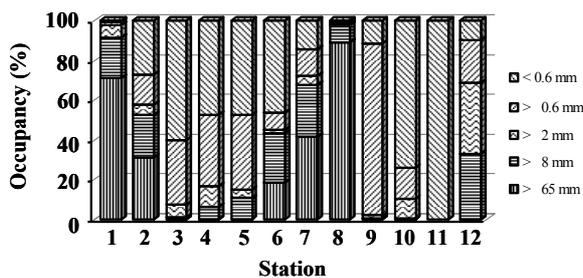
はじめに

琵琶湖北湖沿岸域の底質は、湖流や河川の流入および波浪などに関係して、砂泥、砂、小礫、大礫、岩などさまざまな粒径の基質により構成されている。底質の相違は付着藻類の種類構成、現存量および生産力に関係し、沿岸域の基礎生産および物質代謝に影響すると考えられる。沿岸域の付着藻類に関する研究の多くは礫に付着する藻類を対象としており、砂質や水生植物に付着する付着藻類の現存量や生産量についての情報量も少ない。本研究では、琵琶湖北湖の沿岸域において、底質の異なる水域を選び、付着藻類の種類構成、現存量および基礎生産を測定した。これにより、沿岸域での付着藻類の現存量や生産量を底質構成との関係において明らかにすることを目的とした。

方法

2011年6月に北湖の湖岸域において、底質に関する調査を行なった。底質の区分は、径が65 mm以上の礫を除いたのち、8 mm, 2 mm, 0.6 mmのふるいを用いて、分別し、それぞれの分画の重量から、割合を求めた。得られた底質の状況をもとに12地点を選定した。12地点の底質構成は図1に示した。

図1 各地点の底質構成



付着藻類の採集調査は、藻類種の季節的変化を考慮して、2011年8月、11月、2012年3月および6月に行った。付着藻類の採集深度は、2012年8月の調査日における各地点の2 m水深とし、毎回の採集は同じ場所において行った。8月の調査日の琵琶湖標準水位の平均は-20 cmであった。各地点において、25 cmの方形枠をそれぞれ4か所について置き、付着藻類を採集する底質を、スキューバにより攪乱を避けて採取した。

付着藻類の採集は、レキからはプラスチックブラシを用いて剥ぎ落とし、砂質からは洗い出しにより行った。水生植物がみられる地点では、基質による相違を求めるために、別途試料を採集した。採集した試料は、ろ過湖水に懸濁させて持ち帰り、その後クロロフィル a 量や種類構成などの分析を行った。また、試料の一部は光合成の測定に用いた。同時に、植物プランクトンの現存量および光合成測定のために、付着藻類の採集と同じ場所の表面水を採取した。各調査時に、水温、pH、電気伝導度を測定し、栄養塩類分析のために試水を採取した。

結果および考察

調査対象とした各地点のセッキ深度は、台風後の時をのぞき、6 m以上であった。また、栄養塩類濃度は溶存無機態窒素として0.8 Mから38 μ M、溶存無機態リンは0.01 μ Mから1.3 μ Mであり、季節的変動はあるが、地点間の相違と考えられるような傾向は見られない。

各地点のクロロフィル a で表した付着藻類現存量の2011年8月、11月、2012年3月の結果を、図2に示した。各地点の現存量の値は5から328 μ g chl. a m^{-2} の範囲にあった。採集時での変動はあるが、礫の優占する底質の地点で付着藻類の現存量が大きい傾向が認められ、底質の安定度が付着藻類の付着藻類の生育に重要な役割を果たし、より大きい現存量を維持すると考えられた。

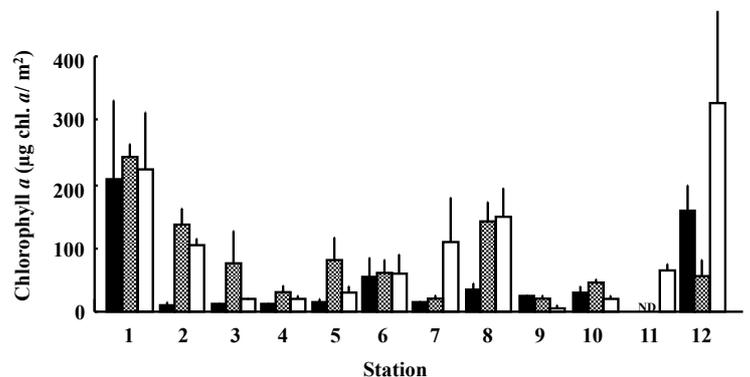


図2 付着藻類現存量(■ 2011年8月, ▨ 11月, □ 2012年3月)

本研究は、平成 23~25 年度文科省科研費(基盤研究 (C), 課題番号 23510015 の一環として行われた。

琵琶湖における沿岸帯の機能とその影響因子の評価について

* 一瀬 論・古田世子・山中 直(滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)、田中仁志(埼玉県環境科学国際センター)、馬場大哉(東レテクノ(株))、岸本直之(龍谷大院・理)、西村 修(東北大院・工)

1. はじめに

琵琶湖など水深の深い湖沼では一旦底層に沈降した植物プランクトンが有光層に回帰し、再増殖することは考えにくい。そのため、プランクトン種の維持には水深の浅い沿岸帯の機能が重要な役割を果たしていると考えられる。さらに、沿岸帯は生産活動や底質の有機物分解も活発であることから、沖帯への有機物やN、Pの供給源としても重要である。

本研究では、沖帯への植物プランクトン種の供給源としての沿岸帯の評価を行うことを目的とし、(1)植物プランクトンの増減と水質との関係の解析、(2)沿岸帯のシードバンク機能評価(シードバンクとは、植物プランクトンや藻類の種の保存庫・供給源)、(3)沖帯および沿岸帯の底質環境の解析、(4)水塊に回帰してきたプランクトンの増殖、生産とそれに伴う水質影響評価を2011年から実施している。今回は、その全体概要、沖帯と沿岸帯の水質の変化およびプランクトンの動態解析結果を中心に発表する。

2. 方法

琵琶湖における水質やプランクトンの定期調査は1979年から滋賀県と近畿地方整備局が共同で1~2回/月の頻度で実施している。本研究では、そのうち北湖今津沖、今津沖中央、長浜沖の3調査地点(採水深0.5m)について、1979年~2009年の30年間の調査結果を用いた。調査項目は植物プランクトンの種類と総細胞数、総細胞容積、総細胞炭素量とCOD、T-P、T-N、SS、Chl-a量等である。

3. 結果と考察

琵琶湖を沿岸帯と沖帯に分けて、植物プランクトン組成変化や水質について解析した結果、長期

的な推移をみると沖帯も沿岸帯もCODは増加傾向を示したが、T-P、SS、Chl-a、植物プランクトンの総細胞容積量や種類数等は減少傾向を示した。また、沿岸帯では各項目とも増減幅がより顕著であった。植物プランクトン種組成の変化では、1986年頃から緑藻主体から藍藻の優占度が増し、藍藻が増加したために平均細胞容積が小型化する特徴が各地点で認められ、種組成変化に伴う生産構造の質的・量的変化の可能性が示唆された。

さらに、植物プランクトンの総細胞容積量と炭素量の関係式を構築して、各地点の植物プランクトンバイオマスと炭素量として評価した結果、植物プランクトンの全バイオマスは、各地点で徐々に減少傾向にあるが、藍藻や鞭毛藻のバイオマスは1980年以降増加傾向にあることが明らかとなった。次に、30年間における植物プランクトン総炭素量とChl-a量との相関係数をみた結果、沖帯の調査地点である今津沖中央では、1980年代には0.86と最も高かったが、藍藻が増加し始めた1990年代は0.56、2000年代には0.52と徐々に相関計数が低くなる傾向が認められ、Chl-a量だけでは推測することができない湖内生産の質的な変化を表している可能性が示唆された。

今後、琵琶湖内の内部負荷に影響を及ぼすと考えられる湖岸帯の機能評価を行い、沿岸帯の底質環境が藍藻やプランクトン群集構造に与える影響について明らかにし、沿岸部の環境整備による水環境改善に活用したい。

謝辞

本研究は環境省環境研究総合推進費「湖沼水質形成における沿岸帯の機能とその影響因子の評価」(H23~25年度)として実施した。ここに記して謝意を表します。

琵琶湖における長期的な漁獲量変動と環境変化の関連性の検討

* 大久保卓也・佐藤祐一（滋賀県琵琶湖環境科学研究センター）

1. はじめに

琵琶湖では、貝類を含めた漁獲量が激減しており、特にシジミ等の貝類の減少が顕著である（図1）（近畿農政局滋賀農政事務所, 2011）。また、魚類ではコイ、フナ、モロコ、イサザ、ウグイ、オイカワなどは減少の一途である。アユは人工河川での放流の影響もあり2000年頃までは漁獲量が維持されていたがその後は減少傾向にある。このような漁獲量減少の原因として、湖岸の人工護岸化、河川改修、堰堤や取水堰による魚類の移動の分断、水位の人為的管理などが指摘されている（滋賀県, 2011）。本研究では、過去57年間の漁獲量データを用い、気象条件、琵琶湖の水位、水質、集水域における下水道普及、圃場整備等の環境因子の変化との関係について統計解析を行った。

2. 方法

統計解析に用いたデータは、1954年から2010年（57年間）の琵琶湖の漁獲量、同年および前年の彦根の年降水量、年平均気温、年平均風速、年間日照

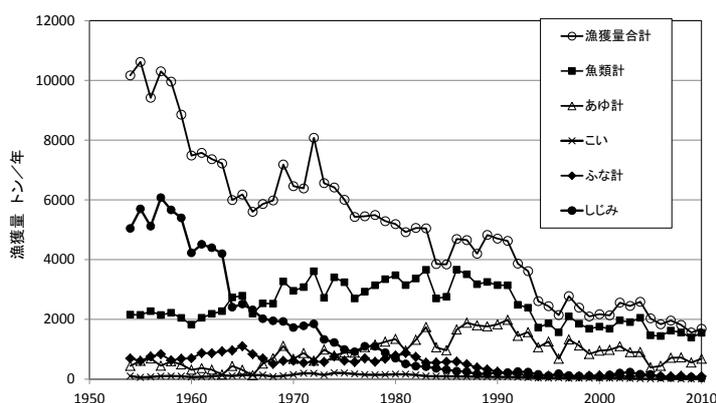


図1 琵琶湖における漁獲量の長期変化

表1 漁獲量と環境因子の関係（変数増加法による重回帰分析結果）

従属変数	相関係数	係数±	第1説明変数1	係数±	第2説明変数	係数±	第3説明変数
漁獲量合計	0.866	-	透明度(南湖)	-	放流量(3月)	+	水位(3月)
魚類合計	0.624	-	透明度(北湖)	-			
ます	0.900	-	風速(4月)	-	年平均風速	-	放流量(9月)
あゆ計	0.888	-	透明度(南湖)	-	降雪量	+	降水量(5月)
こい	0.974	+	SS(南湖)	-	放流量(2月)	+	降水量(5月)
ふな計	0.936	-	水位(2月)	-	降水量(11月)	+	風速(7月)
うぐい+おいかわ	0.943	-	透明度(南湖)	+	放流量(12月)	+	風速(8月)
いさざ	0.824	+	降雪量(前年)	+	降水量(4月)	+	降水量(2月)
ほんもろこ	0.987	-	圃場整備率	+	下水道普及率	+	TP(南湖)
はず	0.943	-	透明度(南湖)	+	風速(11月)	+	風速(2月)
その他魚類計	0.942	-	SS(北湖)	-	水位(1月)	-	BOD(南湖)
すじえび+てながえび	0.925	-	圃場整備率	+	風速(10月)	-	水位(6月)
しじみ	0.875	+	BOD(北湖)	+	年平均風速(前年)	+	降水量(11月)
その他貝類	0.971	-	圃場整備率	+	下水道普及率		

（注）説明変数が3つまで選定された時の結果を示す。ただし、魚類合計については、説明変数が1つ、その他貝類については説明変数が2つしか選定されなかった。

時間、年降雪量、年間全日射量、同年の各月降水量、同年の各月平均風速、1970年以降の各月平均琵琶湖放流量、各月平均水位、1970年前後からの透明度（北湖、南湖）、SS（北湖、南湖）、COD（北湖、南湖）、BOD（北湖、南湖）、TN（北湖、南湖）、TP（北湖、南湖）、1994年以降の推定カワウ生息数、1963年以降の圃場整備率、1970年以降の下水道普及率である。各種魚貝類の漁獲量を従属変数として、上記の環境因子を説明変数として、変数増加法の重回帰分析を行い、環境因子の影響を調べた。統計計算はWindows版SPSS Ver. 15を用いた。

3. 結果

変数増加法による重回帰分析の結果を表1に示す。琵琶湖の透明度は、北湖、南湖ともに増加傾向にあるが、漁獲量合計、魚類合計、アユ、ウグイ+オイカワ、ハスの説明変数として最初に選ばれ、係数はマイナスとなっていた。つまり、透明度の変化とこれらの漁獲量の変化は逆の関係になっている。琵琶湖の水質は富栄養化防止対策によってきれいになってきたが、漁獲量は逆に減少しているものが多い。ホンモロコ、スジエビ+テナガエビ、その他貝類については、圃場整備率がマイナスの係数で第1説明変数として選ばれた。アユについては、第2説明変数が降雪量（係数はマイナス）、第3説明変数が5月の降水量（係数はプラス）となった。つまり、アユの漁獲量は南湖の透明度が低い年、雪の少ない年、5月の降水量が多い年に多い傾向にある。イサザについては、前年の降雪量がプラスの係数で第1説明変数に選ばれた。シジミは、北湖BOD、前年の平均風速、11月の降水量がすべてプラスの係数で説明変数として選ばれた。ブラックバス、ブルーギル、カワウの

影響については、経年的なデータ数が少ないため影響因子として抽出されなかったものと推定される。

引用文献

近畿農政局滋賀農政事務所：滋賀県林水産統計年報、2011

滋賀県：マザーレイク21計画（琵琶湖総合保全整備計画、第二期改訂版、2011

琵琶湖沿岸生態系の生物多様性に影響を及ぼす駆動因

*柴田淳也（京大・生態研），苅部甚一（国環研），酒井陽一郎（京大・生態研），
武山智博（大阪市大・理学），陀安一郎（京大・生態研），
佐藤祐一（琵琶湖環境研セ），谷内茂雄，中野伸一，奥田昇（京大・生態研）

1. はじめに

近年のアジア諸国では、急激な経済成長に伴い大規模湖沼生態系の深刻な劣化が懸念されている。琵琶湖生態系は、過去に同じく急速な経済成長による過大な人為影響をうけ、その間の環境および生物相データが多く蓄積されている。そのため、琵琶湖は、アジアの大規模湖沼における生物多様性の減少をもたらす駆動因の特定のための優れたモデルとなる。本研究ではまず、琵琶湖生態系の中でも特に人為的影響を受けやすい沿岸生態系の底生生物に着目し、歴史的なベントス相データを収集・統合することで、どのように沿岸ベントスの群集構造が変遷してきたのか記載する。また、琵琶湖全域でベントス相を調べるとともに、生息地環境や周囲の土地利用形態との関係を解析し、ベントスの群集構造に大きく影響する環境要因の特定を試みた。

2. 材料と方法

滋賀県水産試験場により 1969 年から 2002 年にかけて実施された沿岸 55 地点におけるベントス相（滋賀県水産試験場 1972 「昭和 44 年度琵琶湖沿岸帯調査報告書」、滋賀県水産試験場 1998 「平成 7 年度琵琶湖沿岸帯調査報告書」、滋賀県水産試験場 2005 「平成 14～15 年度琵琶湖沿岸帯調査報告書」）および 2005 年 11 月から 2006 年 7 月に京都大学生態学研究センターにより実施された琵琶湖沿岸 33 地点でのベントス相および環境データを GIS データベース上で統合した。また、駆動因候補（周辺土地利用）として、国土交通省の国土数値情報 2006 年土地利用細分を元に各調査地点の半径 500m の陸域およびその範囲に河口がある場合その河川集水

域における土地利用を集計し、駆動因の解析に用いた。

冗長性解析（RDA）で群集組成に直接的な影響する環境要因（Pressure）を特定するとともに、多様性損失に関わる駆動因（周辺土地利用：Driver）と影響の大きさを共分散構造分析で解析した。

3. 結果と考察

冗長性解析の結果、沿岸ベントス群集の組成には、沈水植物の被度、表層・底層の有機物量、水温、pH が大きく影響している事がわかった。これらの結果から、富栄養化や温暖化が沿岸ベントスの生物多様性の変化に関与したことが示唆された。また、琵琶湖南湖では 1995 年以降沈水植物の大量繁茂が大きな問題になっているが、1995 年から 2006 年にかけての群集変化と RDA の結果は一致した傾向があり、沈水植物の優先する生態系へのレジームシフトがベントス多様性に大きく影響したことも示唆された。

予備的な共分散構造解析の結果、検討しうる土地利用・生息地環境情報全てを用いたフルモデルからのモデル選択によって選択されたモデルは、実際のベントスの分類群数の分布を良く説明するモデルを得られた。今後は、モデルで検討する仮説を具体化し解析を改善することで、大規模湖沼生態系における多様性損失をもたらす駆動因の特定と、その駆動因の作用プロセスの解明を目指していく。

宍道湖と松江堀川における突発的な水草繁茂について

國井秀伸 (島根大学汽水域研究センター)

1. はじめに

宍道湖では、1960年代までは広大な沈水植物帯が存在していた記録があるものの、1980年代前半以降は、沈水植物は船溜まりなどの極めて限られた場所以外ではその生育は確認されていなかった。また、松江の堀川でも、1950年代に多くの水草が繁茂していたという報告があるものの、その後は水質悪化等によりヨシやマコモなどの抽水植物以外の水草は姿を消している。しかし、宍道湖では、オオササエビモをはじめとして、ホザキノフサモ、マツモ、エビモなどの沈水植物が2009年秋から南岸を中心に大繁茂し始め、松江の堀川においても2010年夏以降に一部でマツモが見られるようになり、翌年にはRDB記載種でもあるツツイトモを含む10種を超える水草が、堀川のほぼ全域で繁茂し始めた。

今回の突発的な水草の出現と分布拡大は、いわゆる植物プランクトンの優占する「濁った系」から水草の優占する「澄んだ系」へのレジームシフトの可能性が高いと考えられるが、人為的な操作なしに湖沼沿岸域に水草が回復した事例は世界的にもまれである。そこで、宍道湖と堀川で起こった水草の回復過程を、水質や底質の変化とともにモニタリングし、さらに両水系に共通して起こった出来事を精査することにより、原因究明の一環とすることにした。

ここでは、2010年と2011年の10月に行った宍道湖岸の空撮結果や堀川での水草繁茂の様子などを写真で紹介し、2011年10月に行った湖内で優占するオオササエビモの潜水調査（玉湯近辺の湖底に50×50cmのコドラットを10個設置し、密度計測後に刈り取りを行った）の結果について紹介する。

2. 結果

演者は宍道湖の南岸において水面にまで達した

沈水植物（優占種はオオササエビモ）のパッチを2009年10月に確認した。さらにその後の観察により、湖内とそれにつながる大橋川では、リュウノヒゲモやツツイトモなどの、湖内では初記録となる沈水植物も生育していることを確認した。

2010年の湖岸全周の空撮で、オオササエビモのパッチは玉湯近辺では岸から300mの沖合にまで広がっていることがわかった。また、2010年にはまばらであったパッチは2011年にはその数を増し、北岸や東岸にもパッチが出現した。

潜水調査結果によると、湖底は砂質で、地下茎は湖底面下7cmまでの浅い層に発達していた。シュートの密度と現存量の平均値はそれぞれ1m²当たり504本と256.6±43.5gで、生育深度は2.5mが最深であった（別の調査では2.7m）。パッチの大きさ（長径）は平均3m（最大と最小はそれぞれ5mと2m）で、水面近くでは糸状藻類（オオクグなど）が多く絡まっていた。

3. おわりに

まだ推論の域を出ないが、宍道湖と堀川での突発的な水草の分布拡大の原因については、諏訪湖での前例のように、下水道の整備や畜産排水の規制強化などによってチッ素やリンといった栄養塩の外部負荷量が低下し（いわゆる貧栄養化）、そのため植物プランクトン量が減少し光環境が改善したためではないかと考えられる。しかし、湖内での透明度やクロロフィル量については、これまでのところ明確な変化は把握されていない。堀川においては、確かに植物プランクトンを主とする水中懸濁物質がこの20年間に大きく減少している。

水草の繁茂とヤマトシジミの漁獲量が激減していることに関連があるのか、あるいは2010年の夏以降宍道湖でアオコが大発生するようになっていくことと水草繁茂という現象に矛盾は無いのかについて、今後の議論が必要である。

宍道湖湖心における植物プランクトンの

季節変化と水質との関連

*谷 幸則・山本貴幸・内藤 博敬（静岡県大・環境）

神谷 宏・宮廻 隆洋・崎 幸子（島根県保環研）

大谷修司（島根大・教育）・山室真澄（東大院・新領域）

1. はじめに

沿岸や汽水域は、豊富な栄養によって生物生産性が高く、水産対象種の漁獲も盛んな水域である。その一方で、集水域からの人為的な影響を受けやすい。島根県・宍道湖は、ヤマトシジミ漁獲量が日本一の豊かな汽水湖であるが、様々な種類の水産資源量が大幅に減少してきている。この水産資源量の減少理由は不明であり、その原因の究明が必要である。本研究では、宍道湖湖心において、植物プランクトンと水質の測定を週一回の高頻度で行い、植物プランクトンの季節変化と水質との関連を調べることを目的とした。植物プランクトン類の定量的なデータの集積のために、カロテノイド濃度を指標として利用すると同時に、顕微鏡による優占植物プランクトンの同定をおこなった。

2. 方法

2010年7月から2011年6月まで、島根県・宍道湖の湖心から深度別（1 m毎）に湖水を週一回の高頻度で採取した。GF/F ガラス繊維フィルターで植物プランクトンを含む懸濁物を捕集し、アセトンでクロロフィル色素及びカロテノイドを抽出し、フォトダイオードアレイ検出器付の高速液体クロマトグラフィーで分析した。また、顕微鏡による優占植物プランクトンの同定、常法による水質測定（水温、溶存酸素、塩分、窒素成分、リン成分、溶存 Mn 等）を合わせておこなった。

3. 結果と考察

カロテノイドとして、Peridinin（渦鞭毛藻）、Diadinoxanthin（渦鞭毛藻・珪藻）、19'-Hexanoyloxyfucoxanthin（主として珪藻）、Fucoxanthin（主として珪藻）、Violaxanthin（緑藻）、Lutein（緑藻）、Alloxanthin（クリプト藻）、Zeaxanthin（藍藻）、Echinenone（藍藻）、 β,β -carotene（主として藍藻）が検出された。全試料を通して、これらのカロテノイド総量と総 Chlorophyll *a*（Chlorophyll *a*、Pheophytin *a*、Pyropheophytin *a* の総和）の有意な正の相関（ $R^2 = 0.52, P < 0.001$ ）が認められ、総カロテノイドが植物プランクトンの全体量を表す指標となることが明らかとなった。各カロテノイドの相対値は、明瞭な季節変化を示した。藍藻の指標となる Zeaxanthin、Echinenone、 β,β -carotene は、2010年7月～9月に相対的に高くなる傾向があった。特に9

月の一か月間は、総カロテノイドの80%以上を占め、藍藻の単独的な優占が認められた。この期間、*Aphanocapsa holosatica*、*Synechocystis* sp.、*Colelosphaerium kuetzinginum*、*Eucapsis* sp.、*Snovella litoralis* 等が観察され、複数種の藍藻が、藍藻由来カロテノイドの高い相対濃度に寄与していることが明らかとなった。これに加えて、藍藻由来のカロテノイド相対濃度が高い期間は、2011年4月18日～5月2日（総カロテノイドの60%以上；藍藻優占種 *Synechocystis* sp.、*Colelosphaerium kuetzinginum*）、6月6日から27日（総カロテノイドの30%以上；藍藻優占種 *Merismopedia* sp.、*Colelosphaerium kuetzinginum*）であり、それぞれの期間で藍藻優占種が異なった。2011年4月18日～5月2日の藍藻が優占した期間の水温は、12.7～15.6℃であり、宍道湖では比較的低温でも藍藻が優占する場合があることが明らかとなった。

2010年12月13日から2011年2月7日まで、渦鞭毛藻由来 Peridinin が、高い相対濃度で検出された。また、同時期の2011年1月5日～2月14日に、緑藻由来の Lutein と Violaxanthin が高い相対濃度で検出された（緑藻優占種；*Pseudodictyosphaerium* sp.、*Pyramimonas* sp.他）。宍道湖の厳寒期には渦鞭毛藻と緑藻が優占し、珪藻は相対的に減少（珪藻由来の Fucoxanthin と 19'-Hexanoyloxyfucoxanthin は、総カロテノイドの20%以下）することが明らかとなった。

4. まとめ

年間数回にわたる藍藻の優占期間が認められた。また、厳寒期には、緑藻と渦鞭毛藻の優占が認められた。これらの優占により、宍道湖では、珪藻の植物プランクトン相に占める相対割合が大幅に低下する時期が年間の半分程度に及ぶことが明らかとなった。藍藻類は、不飽和脂肪酸、ステロール類の含有率が低いため、高次捕食者にとって「エサの質」が低いことが明らかとなっている。今後、緑藻や渦鞭毛藻の高次捕食者に対する餌資源としての利用効率などの知見を集積し、宍道湖におけるヤマトシジミ等の水産資源量減少との関連を調べる必要がある。

5. 謝辞

この研究の一部は、国土交通省・平成24年度河川砂防技術研究開発公募地域課題分野（河川生態）の補助を受けた。ここの謝意を表します。

北浦底泥中に含まれるリン酸態リンの季節変化

* 神谷航一, 大内孝雄 (茨城県霞ヶ浦環境科学センター), 中里亮治 (茨城大), 星麻里恵 (茨城県鹿行県民センター), 須能紀之 (茨城県水産試験場内水面支場)

1. はじめに

霞ヶ浦において、底泥からのリンの溶出については、多くが室内の溶出実験によるものであり、対策を考えるうえでは、現地での実測データが望まれている。

現地での実測データについては、底泥中のリンが夏季に減少している湖沼も確認されているが、霞ヶ浦の西浦においては、ほとんど変化が見られないとの報告もある¹⁾。

そこで、西浦に比べて溶出速度が大きいとされる北浦において、底泥中のリン蓄積量の変化を調査し、その減少量から推定した溶出速度について報告する。

2. 方法

2011年7月から2012年2月にかけて、北浦湖心域にある地点 (K3, K4) (Fig. 1) でアクリル筒 (長さ 50 cm, 内径 7 cm) (重力式コアサンプラーによる採取) を用いて底泥を採取した。得られた底泥は 2cm 間隔でスライスし、比重瓶を用いて含水比と密度を測定し、各層中に含まれる乾燥底泥の量 (以下底泥量) を算出した。また、底泥中のリン含有量は、モリブデンブルー法により測定した。得られた底泥量と底泥中のリン含有率を乗じてリン蓄積量を算出した。一方、湖水と間隙水は、孔径 1.0 μm のフィルター (Whatman 社製, GF/B) でろ過し、BRAN-LUEBBE 社製 AACS-II を用いてリン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$) 濃度を測定した。

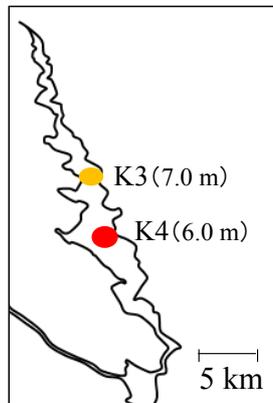


Fig. 1 調査地点

3. 結果と考察

間隙水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度鉛直分布 (Fig. 2) では、K3 と K4 のそれぞれ重量深度 (底泥表層から底泥量を積算した深度) 25 kg m^{-2} , 20 kg m^{-2} より深い場所では、明確な季節変化が見られなかったことから、それぞれの深度より浅い底泥中に含まれるリンの総量を TP 蓄積量とした。

その結果 (Fig. 3), 両地点において 8月に比べて 10月では蓄積量が減少していることが確認された。その減少量を日数 (61 日) で除して算出した溶出速度は、K3 で 74 $\text{mg-P m}^{-2} \text{d}^{-1}$, K4 で 26 $\text{mg-P m}^{-2} \text{d}^{-1}$ を示し

た。一方、北浦の底泥を用いたバッチ型 (底泥直上水の交換が無い) の溶出試験²⁾ の 8月から 10月の溶出速度の平均値は、K3 で 7.8 $\text{mg-P m}^{-2} \text{d}^{-1}$, K4 で 10.6 $\text{mg-P m}^{-2} \text{d}^{-1}$ であり、本研究で得られた値に比べて低い値を示している。バッチ型の溶出試験については、現場環境に近似させた直上水を交換する試験に比べて、溶出速度が小さいことが確認されている³⁾ ことから、溶出速度を過小評価している可能性が考えられる。

しかし、本研究で得られた TP 蓄積量の減少量は、8月の蓄積量に比べて K3 で 12%, K4 で 7% と低く、分析誤差等を考慮すると、さらに精度を上げる必要があると考えられる。

一方、リンの溶出には、鉄態のリンが大きく関与していることが報告されている⁴⁾。北浦底泥中に含まれる TP のうち、鉄態リンの占める割合は 1/2 程度である⁵⁾ ことから、鉄態リンの減少量を把握することで、より精度が高くなると思われる。

参考文献

- 1) 細見ほか (1981) 国立公害研究報告, 第 22 号, 45-54
- 2) 石井ほか (2006) 茨城県霞ヶ浦環境科学年報, 第 2 号, 95-102
- 3) Tina et al. (1996) Marine ecology progress series, 140, 257-269
- 4) 小林ほか (1991) 水質汚濁研究, 第 14 巻, 第 4 号, 253-260
- 5) Ishii et al. (2010) Limnology, 11, 5-16

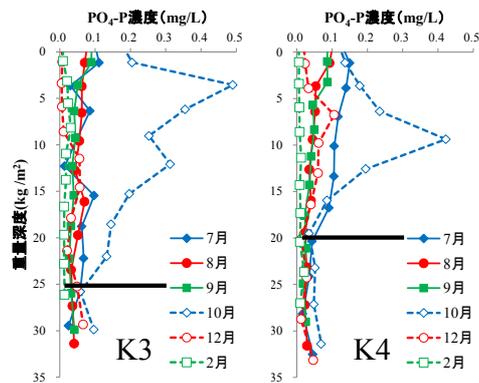


Fig. 2 間隙水中 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度鉛直分布

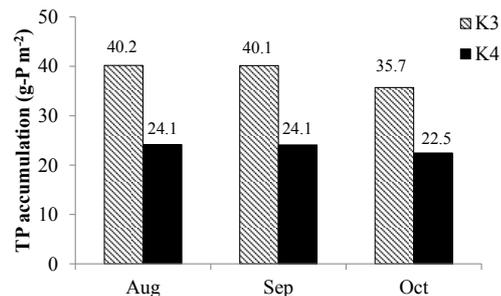


Fig. 3 TP 蓄積量の変化

霞ヶ浦底泥における脱窒活性と脱窒速度の季節変化

*北村立実, 吉尾卓宏, 大内孝雄, 中村剛也 (茨城県霞ヶ浦環境科学センター)
 須能紀之 (茨城県水産試験場内水面支場), 渡邊圭司, 林誠二 (国立環境研究所)
 黒田久雄 (茨城大学)

1 はじめに

湖沼等の汚濁負荷源の一つと考えられている底泥には様々な微生物が生息している。脱窒は微生物の代謝活動を通じて富栄養化の要因の1つである硝酸(NO₃)を窒素ガスに変換して系外に放出することから湖沼が持つ自浄作用として知られている。本研究では霞ヶ浦全域の底泥の潜在的な脱窒能力(脱窒活性)と自然環境下に近い状況での脱窒量(脱窒脱窒速度)を調査したので報告する。

2 調査の概要

調査は2011年8月から2012年3月に行った。調査地点は河川下流3地点(R1~R3)と西浦6地点(N1~N6),北浦5地点(K1~K5)である(Fig. 1)。採水は河川下流では表層,湖内は湖底直上0.5mで行った。採泥は河川下流と湖内では直径7cm,長さ50cmのコアパイプで採取した。水質は硝酸態窒素(NO₃-N)濃度を対象とし,オートアナライザー(BRAN+LUEBBE, AACS-II)で分析した。底泥は脱窒活性と脱窒速度をアセチレン阻害法によって分析した。脱窒活性の測定は,採取した表層底泥にNO₃-N 1mg/LのNaNO₃溶液を添加し,30℃暗条件で行った。脱窒速度の測定はコアの状態では8月25℃,10月20℃,1月5℃,3月10℃の暗条件で行った。

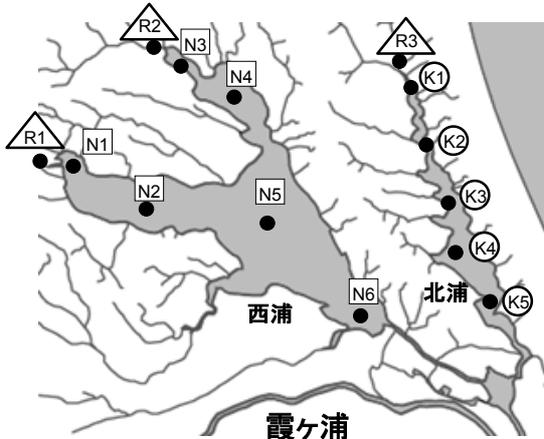


Fig. 1 調査地点

3 結果と考察

Fig. 2 に霞ヶ浦全域の底泥の脱窒活性を示した。R3 で10月を除く,すべての月で最も大きくなっ

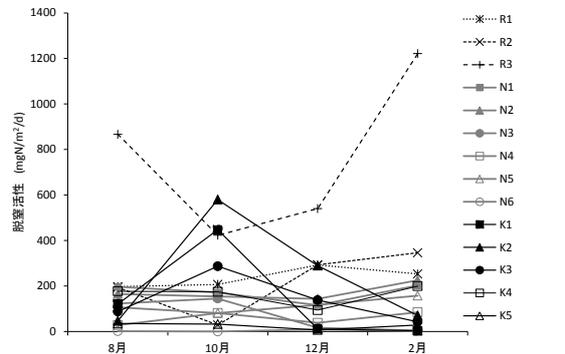


Fig. 2 河川下流及び霞ヶ浦底泥の脱窒活性の変動

た。北浦の上流域(K1~K3)は10月に大きくなる傾向が見られた。その他の地点では地点間の差や季節変化は小さかった。

Fig. 3 に霞ヶ浦全域の底泥の脱窒速度を示した。調査期間を通して河川下流や霞ヶ浦上流域で大きく,霞ヶ浦下流域で小さくなる傾向が見られた。特に8月は河川下流で大きかったが,10月以降は霞ヶ浦上流域で大きくなった。1月は5℃の低水温のためほとんどの地点で最も小さい値を示した。3月に水温が10℃になると湖内の脱窒速度が大きくなり,8月や10月の高水温時期と同程度まで増加した。これはNO₃-N濃度が8月よりも3月の方が高かったためと考えられた。

また,全体的に脱窒活性の方が脱窒速度よりも数倍,地点によっては数100倍大きかった。これらことから,霞ヶ浦のほぼ全域で,季節に関係なく底泥の脱窒ポテンシャルはあるものの,湖水の水温やNO₃-N濃度等が脱窒速度に大きな影響を及ぼしていると考えられた。

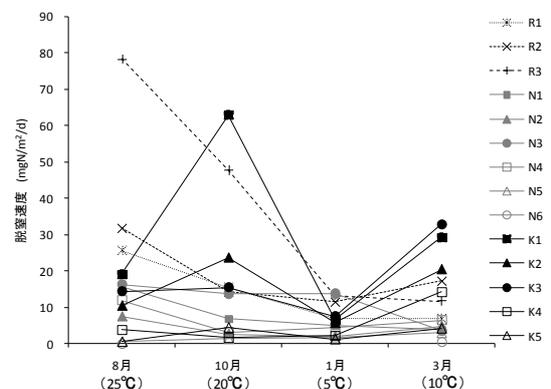


Fig. 3 河川下流及び霞ヶ浦底泥の脱窒速度の変動

深見池の流入負荷量の実態及び汚濁負荷要因の推定

*大八木麻希、横山亜希子、八木明彦（愛知工業大学・工）

1 はじめに

深見池は長野県下伊那郡阿南町大下条にある天然富栄養湖である。ここは北緯 35° 19'，東経 137° 49'，海拔 484 m の所に位置し，面積は 2.1 ha である。3 月下旬～10 月中旬には 4m 付近に水温躍層が発達し、安定した成層構造を形成する湖である。集水域面積は、0.247km²（長野県，1991）であり，集水域内の人家は 12 戸である。栄養塩流入に関わる施肥に関する土地利用について，1992 年の湖岸整備以前は果樹園が存在した。しかし，現在では水田と畑のみであり，それぞれ集水域面積の 4.0%(0.010km²)，と 6.4% (0.016km²) 程度である。流入口は 10 カ所（常時流入しているのは 7 カ所），流出口は 1 カ所である。

2 方法

2008 年 1 月～2011 年 12 月までの 4 年間、約月 1 回ごとに計 49 回の調査を行なった。

流入・流出水の採水方法は、湖に流れ込む主要な流入口（9 カ所 A～I）を一箇所ずつ回り採水を行った。流入量はビニール袋に貯入して求め、流出量は流速計（電磁流向流速計、アレック電子製）を用いて測定を行った。

測定項目は、全有機態炭素（TOC）及び溶存有機態炭素（DOC）について、全有機物炭素計（TOC-V(SHIMAZU))、全窒素（TN）及び全溶存態窒素（TDN）について、全有機物窒素計（TOC-V(SHIMAZU))、全リンについて、モリブデンブルー比色法（鈴木 1982）でそれぞれ測定した。

3 結果及び考察

3-1 流入量について

流入量は、湖岸工事前（1973 年、1973 年、1978 年、1980 年）の年平均が、206000 m³ year⁻¹ であり、護岸工事後（2008 年）には 34900 m³ year⁻¹ と 83% の大幅な減少が生じていた。湖岸工事以降には湖内への負荷量も相当量減少していることが明らかとなった。

3-2 流入負荷量について

流入負荷量はそれぞれ炭素：5.9kg day⁻¹、窒素：740g day⁻¹、リン：78g day⁻¹であった。降雨量と流入量は相関関係が得られた。このことから、流入量が多い時に濃度が低いのは降雨によって薄められたためと推測された。

全流入河川水中の全窒素濃度は平均 8.13mg L⁻¹ であった（図 1）。年間を通じて TN の負荷量を最も多く占める流入河川は、流入口 A 39.7kg year⁻¹ であった。流入負荷量(N)が高い原因として、流入口 A では夏季に流量が増加し、周辺には水田が多いことが挙げられる。深見池の集水域における田への施肥量は年間 89.1kg N である。

流出河川の TDN（溶存態窒素）と PON（懸濁態有機窒素）の割合は、年平均で PON は 27% を占めた。しかし夏季には PON の割合が 50% を超えた。通常、降水や田園などからの影響が考えられるが、流入河川の傾向を見てみると、特に夏季に PON が増加している傾向は見られなかった。次に、湖水表層の割合の傾向を見てみると、流出河川と同様に夏季に PON が高い傾向が確認された。そこで、内部生産の可能性を考え、クロロフィル a 濃度の経月変化を見てみると、冬季に高い傾向が得られたため、植物プランクトン由来ではないことが明らかとなった。これについては、今後の課題としたい。

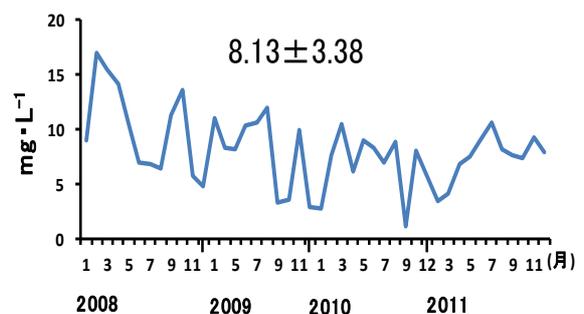


図 1 全流入河川中の全窒素濃度の経年変化

噴火後に見られた霧島火山新燃岳の火口湖の変色

* 大沢信二 (京大・理・地球熱学), 杉森賢司 (東邦大・医・生物)
山内 博・小枝智幸・稲葉博明・片岡義久 (気象庁福岡管区气象台)
鍵山恒臣 (京大・理・地球熱学・火山研)

2011年の新年早々、マグマ噴火を始めた霧島火山の新燃岳の火口には、かつて直径200mほどの硫酸酸性(pH3程度)の水を湛えた火口湖が存在した。エメラルドグリーン色を呈する湖水は多くの登山者の関心を引いていたが、2008年8月22日に起こった噴火(水蒸気爆発)のおよそ8ヶ月後の2009年4月末頃から約2ヶ月の間褐色に変化し、火山活動との関連性が心配された。そこで、私たちは湖水等の試料を入手し、様々な角度から分析して、湖水の褐色化の原因物質を明らかにし、その出現理由を探った。

変色期間の真っ只中であつた2009年5月14日の湖水には褐色の懸濁物が認められたので、湖水とともにポリ瓶に採取し、実験室に持ち帰ってろ別・風乾した(懸濁物量:約7mg/340mL)。その懸濁物の色と現地における変色湖水のそれを色彩学的に比較したところ、両者は全く同じ色相であることが示されたため、褐色懸濁物が湖水を変色させたものであるとしてその後の研究を進めることにした。

懸濁物試料の蛍光X線分析で強いFeのシグナルが得られたので、針鉄鉱(FeO(OH))のような含水酸化鉄系の鉱物であると考えられたが、その他にやや強めのSのピークが認められたので、鉱物種を決めるための赤外吸収分光分析(FT-IR)を行った。得られたスペクトルはシュベルトマナイト($\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_{8-2x}(\text{SO}_4)_x$: $1 \leq x \leq 1.75$)のもの(例えば, Bigham et al., 1994)に符合し、蛍光X線分析で検出されたSは硫酸イオンからきていることがわかった。一方、ろ液となった湖水試料の化学分析を行い、その分析値を使って化学熱力学的な解析を行ったところ、湖水は変色当時シュベルトマナイト

に対して過飽和状態にあつたことが示された。また、湖底堆積物表層の細粒部試料の粉末X線回折測定パターンにも、石英、長石、粘土鉱物、黄鉄鉱(FeS_2)のシグナルに混じって、シュベルトマナイトのピークが認められた。以上の情報から、褐色の懸濁物はシュベルトマナイトであり、その発生が湖水の変色の直接の原因であることが示された。

湖水の色が元にもどつた2009年7月16日に、再度、湖水を採取したところ、前回と異なり目だつた量の褐色懸濁物は見られず、また、湖水に溶存する Fe^{3+} 濃度が前回(5月14日)の32.2mg/Lから4.6mg/Lへ大きく減少しているほか、 SO_4^{2-} とpHに有意な変化が認められた。そのような溶存成分の挙動を説明する湖水への Fe^{3+} 供給反応として、 $4\text{FeS}_2 + 13\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}^{3+} + 8\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$ が想定され、さらに25°Cをほとんど超えることのないこの湖の水温条件下では鉄酸化細菌の関与が考えられた。そこで、それを確かめる微生物培養実験を実施したところ、褐色化したときの試料のみならず、通常の湖水色であるときの試料でも鉄酸化細菌(*Acidithiobacillus ferrooxidans*)が培養され、加えて実際の褐色懸濁物と同様な蛍光X線シグナルを有する褐色の沈殿物の析出を見た。

以上のことがらから、霧島火山新燃岳の火口湖で見られた湖水の変色、シュベルトマナイトの発生には、生体鉱物化作用(Bio-mineralization)が関わつた可能性が高く、これに変色出現の時期等を勘案すると、その作用で使われる出発物質である黄鉄鉱(FeS_2)は2008年8月22日の水蒸気爆発の際に放出された火山灰(下司・他, 2010)の火口湖への降灰でもたらされた可能性が強く示唆された。

生物多様性における生産性・生態系サイズの共役効果： 湖沼の生物群集による検証

*土居 秀幸(広島大・サステナセンター),
Helmut Hillebrand (Univ. Oldenburg)

1. はじめに

現在、生物多様性の急激な減少が、生態系の機能やサービスを劣化させていることが問題となっている。そのような社会的な背景もあり、生物多様性がどのようなメカニズムによって規定されているか？という問いは、生態学の古典的な重要命題の一つである。これまで生物多様性の成立機構を説明する様々な理論や仮説が挙げられてきたが、特にその中でも一次生産性と生態系サイズは生態系の生物多様性を規定する一つの要因であると考えられてきた。

Schoener(1989)は食物連鎖の長さにおいて、系内の総生産量を仮定する必要があることを主張した(生産的空間仮説)。系内の総生産量は以下の式から算出できる。総生産量=生産性(単位量あたりの生産性、例えば mg C/L など) x 生態系サイズ(湖の容積など) よって、生産的空間仮説によって長さが規定されている食物連鎖では、生産性と生態系サイズとが共役的な効果を持つ(例えば Doi et al. 2009, Doi 2012)。

もし、生物多様性の規定にも系内の総生産量が重要であるとすれば、生産性と生態系サイズの共役的な効果を検討する必要がある。しかし、これまでの研究では、生態系の生物種数を規定する一次生産性と生態系サイズについては個別に研究が進められてきた経緯がある。

そこで、本研究では、この仮説を検証するために、湖沼における様々な生物群集について、データセット解析により検証を行った。

2. 方法

総生産量を考慮できるモデルとした。

3. 結果と考察

集めたデータを解析した結果、魚類では生産性と生態系サイズの共役的な効果が強いことが明らかとなった。これは、大型の生物では系内の総生産量が、

その種多様性に強く影響することを示している。Schoener(1989)の生産的空間仮説によると、総生産量が増えることにより、食物連鎖の段階が加わる。よって、生産性と生態系サイズが双方高い系において、上位捕食者である魚類の種数が増加することが、食物連鎖の生産的空間仮説からも考えられた。

このことから、生産性と生態系サイズの共役的な効果が生物群集の多様性を規定する場合にも重要であることが明らかとなった。よって、生産的空間仮説は食物連鎖だけでなく、特に上位捕食者の群集を説明できる重要な仮説であると考えられた。

引用文献

Doi H (2012) Resource productivity and availability impacts for food-chain length. *Ecological Research* 27:521-527. Doi H, Chang KH, Ando T, Imai H, Ninomiya I, Nakano S (2009) Resource availability and ecosystem size predict food-chain lengths in pond ecosystems. *Oikos* 118:138-144. Schoener TW (1989) Food webs from the small to the large. *Ecology* 70:1559-1589.

陸水学の課題と地球温暖化影響研究

坂本 充 (名古屋大学・滋賀県立大学)

1. 湖沼物質代謝の研究推移と今後の課題

近代陸水学の中心的研究課題である湖沼生態系の物質代謝研究は、一次生産と栄養塩回帰を軸とする物質循環と、物理的、化学的、生物学的、地理学的諸過程との相互因果関係解析を通じ、湖沼生態系の動的姿を明らかにすることに焦点がある。自然湖沼では、湖水の成層・循環の季節変化に伴う溶存酸素量の鉛直分布の変化は、物質代謝過程を支配し、湖沼生態系を特性づける。Berge & Juday, Thienemann の湖沼研究は、この発想に基づいたものであり、その理念に従い湖の動的姿を化学手法を用い具体的に明らかにした吉村、菅原、西条、Hutchinson、Ohle らの研究は、湖沼生態系理解の進歩に大きく貢献した。これら先駆者による湖沼研究の大きな特色は、1湖沼を1生命体として捉え、生物代謝に相当する湖内物質循環過程を把握することにより、湖沼生態系の自立性を解明することに重点が置かれたことにある。

1970 年以後、顕著化した湖沼富栄養化や酸性化を防止するため進められた富栄養化と酸性化の研究は、先駆者による生命単位としての湖沼研究を、開放系としての地域性体系の研究に転換させ、大気—集水域—湖沼を通じての物質動態と、それが湖沼生態系に及ぼす影響の解明に研究の重点が置かれるようになった。

更に 1990 年以後、地球温暖化が進みその影響の大きいことから、地球温暖化の湖沼生態系に及ぼす影響の研究が進められることになる。温暖化は全地球的現象であることから、今後は、湖沼生態系の研究には温暖化影響評価が不可欠となるであろう。温度成層の季節変化が湖沼代謝に及ぼす影響の大きいことから、温暖化の湖沼代謝に及ぼす影響の評価は、今後、きわめて重要な課題であるとともに、生態系代謝の動的理解をより大きく深めるものと判断している。しかし、温暖化は、長年月の間に少しずつ進むので、湖沼代謝に及ぼす温暖化影響の解明には、短期間の集中調査よりは、長年月に互る連続的な調査研究が必要となる。

わが国では、従来、湖沼環境管理の目的から、多くの湖沼で水質モニタリングサーベが進められているが、湖沼生態系の動態理解に必要な多項目に互る連続観測が行われているのは、琵琶湖など数湖沼に限られる。本報告では、滋賀県水産試験場、琵琶湖環境科学研究センターによる琵琶湖の定期観測データ、国際誌、国内誌の琵琶湖研究報告を基礎資料として用い、琵琶湖物質代謝への温暖化影響を検討したので、その結果を報告する。

2. 琵琶湖沖域系における物質代謝への温暖化影響

琵琶湖北湖では、1960-1980 年代の富栄養化進行期に一次生産と深層水の溶存酸素消費速度 (AOUR) が増加し、夏季停滞期深層水 DO 量減少が見られた(図 1)。富栄養

化制御により水質改善が進んだ 1990 年以後も、夏季停滞期末に最低 DO 濃度がきわめて低い年が多くなっている。熊谷らによると、温暖化により冬の湖水鉛直混合が不完全になり、深層水への酸素供給が減少したことが原因とされる。滋賀県定期観測データも、冬季鉛直混合が湖底に達しない年の増加を示している。温暖化による深層の貧酸素化進行は、深層の還元代謝を促し、1990 年以後、停滞期深層水中の脱窒による硝酸イオン減少と、リン酸イオン量増加を招いている(図 2)。1990 年以後、深層水のリン酸と Fe の量には弱い相関が見られ、Fe 水和酸化物とリン酸結合体の還元溶解の部分的関与を暗示するが、底泥表層の還元化を妨げる硝酸イオンが大量に共存することから、泥温上昇による底泥有機物の無機化促進がリン酸イオン増加に働いている可能性が高い。深層に蓄積したリン酸は、春の循環期に生産層に運ばれるが、循環期の酸化的環境下では Fe と共沈し、表水層の T-P 増加は見られない。他方、脱窒進行による硝酸イオン減少により、循環期の窒素量は、1990 年以後減少傾向にある。このように、貧酸素化の湖内代謝変化は、湖沼生態系の質的変遷を起こすように判断される。

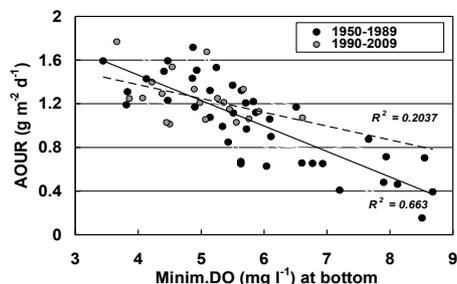


図 1. 北湖深水層の AOUR と底層 DO の関係

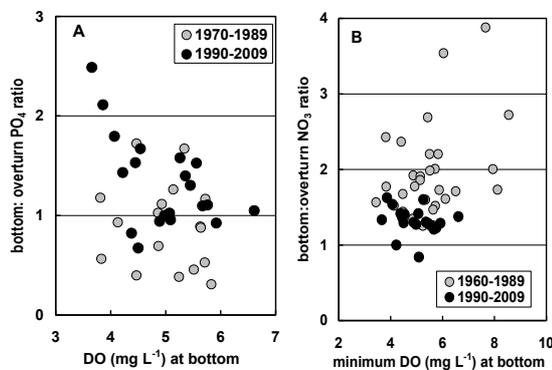


図 2. 北湖底層水の PO₄, NO₃ と DO の関係.

WEP システムを用いた布部ダム深層水の貧酸素改善方法 および DO 濃度の調節を伴う運用方法

*戸島 邦哲¹⁾, 増木 新吾²⁾, 神谷 宏³⁾, 清家 泰⁴⁾

1) 松江土建株式会社環境部, 2) 鳥取大学大学院連合農学研究科

3) 島根県保健環境科学研究所, 4) 島根大学大学院総合理工学研究科

1. はじめに

ダム湖では、夏季の成層化に伴い、大気から深層水への酸素の輸送が十分に行われなくなり、貧酸素化が生じることは知られている。このような深層水の貧酸素化は、底泥からの栄養塩および金属イオンの溶出を促し、水質悪化の一因になると言われている。深層水の貧酸素対策技術は、エアリフト式曝気循環、深層空気曝気などがあるが、比較的新しい技術である深層酸素供給装置が、海外で本格運用される例もある。しかしながら、高純度酸素ガスを用いる場合が多く、DO 濃度が局所的に 50mg/l 程度に達することもあり、水質や生態系に及ぼす影響は明らかになっていない。また近年では、硝化・脱窒に対して活性阻害を与えることが示唆されている。実運用する場合には、生態系を考慮して、大気における飽和 DO 濃度以下にすることが望ましいと考えられる。そこで、我々は島根県の布部ダムに導入されている深層酸素供給装置(WEP システム)を用いて、任意の DO 濃度となるような運用方法を試みた。

2. 材料と方法

深層水への酸素供給に用いた WEP システム(以下装置)は、酸素発生装置と気液溶解装置(独土木研究所と松江土建(株)が共同開発)から構成される(図1)。本実験では、深層水を 2m 毎に分け、装置を昇降させながら深層水全体へ酸素供給を行った。2010 年度は、装置を 4 月 1 日～11 月 29 日まで稼働させた(図2)。2011 年度は、5 月 10～10 月 27 日まで稼働させた。2010 年度はほぼ連続で稼働させたのに対して、2011 年度は、深層水の DO 濃度を 10mg/l 程度で保持するよう日数を調節して間欠的に稼働させた。

3. 結果および考察

装置の実稼働日数は 2010 年度では 224 日間であり、装置直近の DO 濃度は平均 27mg/l に達した(図3)。一方、2011 年度は間欠的に 100 日間稼働させ、装置直近の DO 濃度は平均 10mg/l になった。以上のことから、装置の運転日数を増減させることで、概ね任意の DO 濃度に調節できることが分かった。

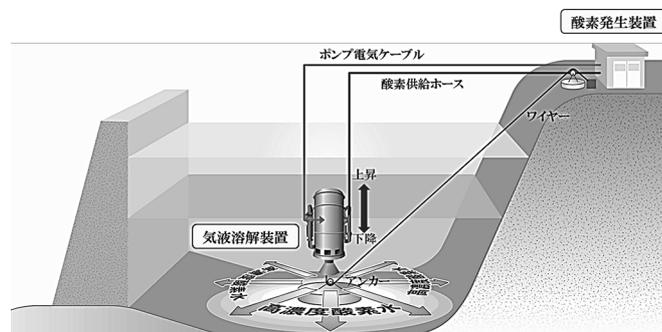


図1 WEP システムの概要

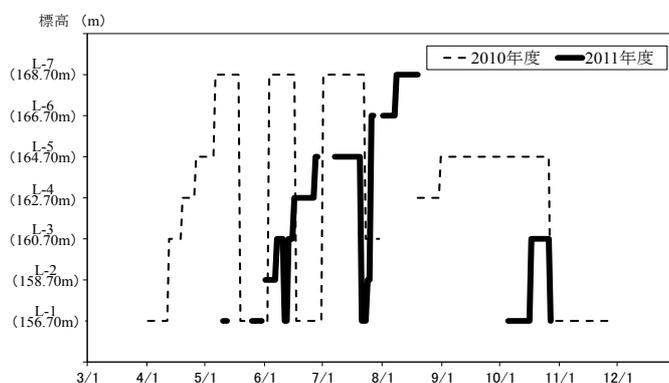


図2 2010年度および2011年度における
WEPシステムの深度別稼働方法

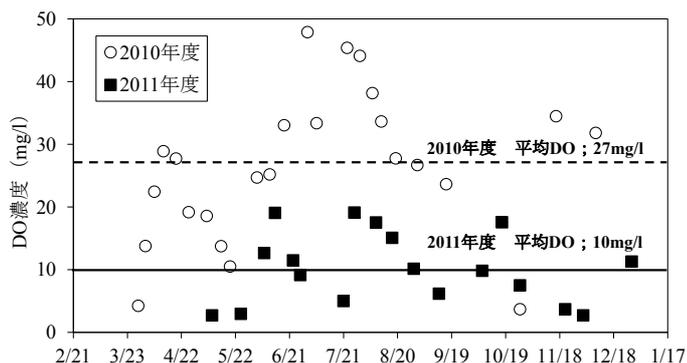


図3 2010年度および2011年度における
装置直近の底泥直上のDO濃度推移

(今後の展望)

2011 年度の装置稼働日数は 100 日と半減しており、コスト面に関して大幅な低減が可能であった。今後、深層酸素供給装置の運用を行う場合には、運転日数等を考慮し、より効率的に運用することが期待される。

島根県布部ダムの栄養塩の変動に及ぼす 高濃度酸素水の影響

*小山維尊、神谷宏（島根県保健環境科学研究所）

増木新吾（松江土建株式会社） 清家泰（島根大 総理工）

1. はじめに

島根県布部ダム（島根県安来市広瀬町布部 水深約40m）では、夏季になると深水層において貧酸素化が観測されている。貧酸素化は、底泥からの栄養塩の溶出を促し富栄養化を助長させる。また、マンガン・鉄などの金属類の底泥からの溶出の原因ともなる。これらは、飲料水の観点から好ましくない。

そのため布部ダムでは、日本で2006年特許登録された、高濃度酸素水を貧酸素化した底層へ送り込む方法を導入し、貧酸素化の改善を行っている。この方法は、高濃度酸素水を水平方向へ広範囲に拡散させるため、1台で広範囲の貧酸素化を改善できる利点がある。しかし、下層への高濃度酸素水の供給によって、栄養塩がどのように変化しているのかについては、十分な知見が得られていない。そこで、高濃度酸素水の供給による布部ダムの栄養塩、特に無機態窒素の変動について調査を行ったので報告する。

2. 方法

本研究では、高濃度酸素水の導入装置 WEP システム（松江土建（株））を使用した。装置の導入は2010年4月で、最初は下層 DO26 mg/l 程度で運転を行ったが、高濃度の酸素条件ではアンモニアから硝酸への硝化阻害が懸念された。そこで、2011年は装置付近の平均 DO が 10.0 mg/l となるように間欠運転を行った。

採水は、2011年5月10日～2012年6月20日の期間、月一回ずつ行った。装置設置による影響を観察するため、採水地点は装置を設置した地点を含めた4地点で行った。装置を設置した地点での採水水深は、表層から5mごとに湖底まで行った。また、各地点において、DO、水温、pHの鉛直測定を行った。分析はTN、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、TP、PO₄-P、

Mn、Fe、Si、Chl-a について行い、高濃度酸素水の影響を検討した。

3. 結果と考察

装置を設置した地点の NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N は、夏季～秋季の期間、底層において NH₄-N が減少し、NO₃-N が増加しており、硝化の進行がみられた（Fig.1）。2011年の運転条件における DO 濃度では、硝化は阻害されなかったと考えられる。また、硝化が進行していた期間、底層の水温が約 5℃から約 10℃へ上昇しており（Fig.2）、水温の上昇が硝化を進行させた要因の一つであると示唆される。10℃に上昇した後、急激に水温が低下しているが、これは全循環によるものである。また、同地点の PO₄-P は調査期間を通じて低濃度で推移しており、底泥からの溶出は抑制されているものと考えられる。

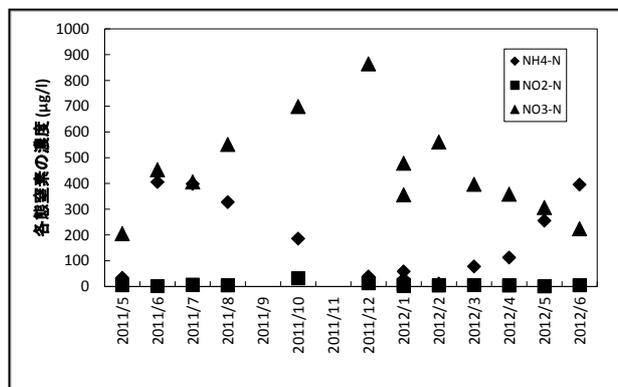


Fig.1 装置付近の底層における各態窒素の経月変化

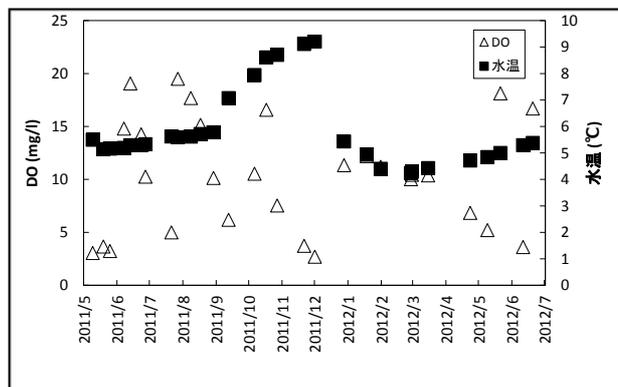


Fig.2 装置付近の底層における DO、水温の経月変化

島根県布部ダムの硝化に及ぼす高濃度酸素水の影響

*牧尾武¹⁾・神谷宏²⁾・増木新吾³⁾・奥村稔¹⁾・清家泰¹⁾

1)島根大学大学院総合理工学研究科

2)島根県保健環境科学研究所

3)松江土建株式会社

1. はじめに

自然環境中で無機窒素化学種は微生物によって利用され、循環している。硝化はアンモニア塩(NH_4^+)からヒドロキシルアミン(NH_2OH)を経て、亜硝酸塩(NO_2^-)、硝酸塩(NO_3^-)を生成する硝化細菌による酸化過程である。この硝化過程によって生成した NO_2^- 、 NO_3^- が脱窒過程によって分子状窒素(N_2)へと変換され、系外へと放出されるため、硝化過程は水圏から窒素を除去する窒素除去プロセスにおいて非常に重要な役割を担っている。また、硝化細菌は好気細菌であるため、酸素を必要とし、無酸素条件下で活性を失うこと、光阻害を受けることが知られている。

島根県布部ダムは水深約 40 m の淡水湖で、夏季には湖底が貧酸素状態になりやすく、湖底堆積物からの栄養塩等の溶出が懸念されていた。そこで、2008 年より WEP (高濃度酸素水供給装置: 松江土建株式会社)を導入し、酸素供給を行ったところ、高濃度酸素水の影響による硝化阻害の可能性が示唆された。(Fig. 1)

本研究では、知見の少ない高濃度酸素水の硝化に及ぼす影響を知るため、島根県布部ダムの定期観測を行い、その結果について培養実験を通して検討した。

2. 方法

2-1 定期観測 (測定項目および定量法)

NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- さらに NH_2OH 、 N_2O について定期観測を行った。

NO_3^- -N : インドフェノール青法

NO_2^- -N : ナフチルエチレンジアミン法

NO_3^- -N : Cu-Cd カラム還元-ナフチルエチレンジアミン法

NH_2OH 、 N_2O : ECD 付きガスクロマトグラフ (Shimadzu GC-14B)

2-2 培養実験

1 L デュラン瓶に布部ダム底層水 1 L と湖底堆積物 2.5 mL を入れ、基質として NH_4^+ が 1500 $\mu\text{gN/L}$ となるように添加した。 N_2 ガスと O_2 ガスを用いて混合ガスをテドラパックに充填し、各培養瓶に取り付けることで試料水中の酸素濃度を調整した。25 °C、暗所で培養を行い、数日おきに試料水を採取し、分析を行った。

3. 結果と考察

高濃度酸素水による硝化阻害の有無について培養実験を行い検討したところ、DO 33 mgO_2/L に調整し、培養を行った試料水では、 NH_4^+ の減少及び NO_3^- の増加が起こらず、高濃度酸素水によって、硝化阻害が起こることを確認した。したがって、WEP を導入した 2008 年には、装置から供給された 40 mgO_2/L を超える高濃度酸素水の影響により硝化阻害が起こり、布部ダム湖底直上 1 m で NO_3^- が増加せず、 NH_4^+ が蓄積していたものと考えられた。(Fig. 1)

また、硝化細菌が高濃度酸素水に長期間曝露され続けることによって、さらに低い溶存酸素濃度でも硝化阻害が起こる可能性が示唆された。

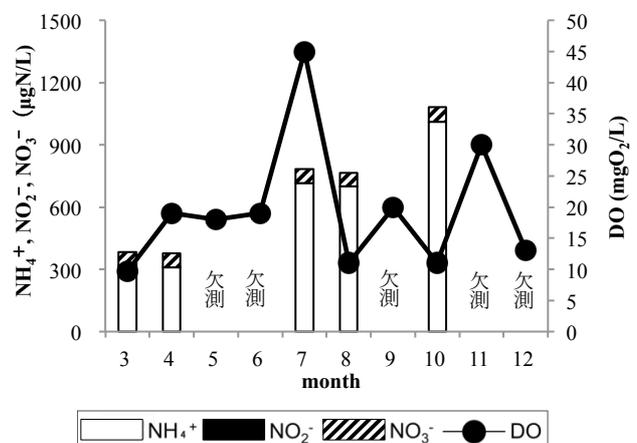


Fig. 1 布部ダム 湖底直上 1 m 経月変化 (2008)

島根県布部ダムの脱窒活性に及ぼす高濃度酸素水の影響

*吉村南美¹⁾・神谷宏²⁾・増木新吾³⁾・奥村稔¹⁾・清家泰¹⁾

1) 島根大学大学院総合理工学研究科

2) 島根県保健環境科学研究所

3) 松江土建株式会社

1. はじめに

脱窒とは、通気性嫌気細菌である脱窒細菌による生物学的な硝酸塩(NO_3^-)の異化的還元過程であり、基質として NO_3^- 、亜硝酸塩(NO_2^-)を利用し、亜酸化窒素(N_2O)を経て分子状窒素(N_2)に還元されるプロセスである。自然水域では、深水層で NO_3^- が蓄積し、溶存酸素(DO)が枯渇するような環境水中や、硝化や表層からの NO_3^- の供給がある環境で活発な脱窒が起こると考えられている。脱窒は、水圏から窒素を除去する窒素浄化の最終段階を担う過程であるため、富栄養化抑制プロセスとして非常に重要である。

本研究では、布部ダム(島根県安来市広瀬町)に WEP システム(高濃度酸素水供給装置)を導入し、高濃度酸素水が窒素浄化能に与える影響について湖底堆積物の深度別脱窒活性の測定を通して検討した。また、高濃度酸素水が脱窒活性に与える影響について室内実験による検討を行った。

2. 方法

・脱窒活性の定量操作

現場でバイアル瓶(156 mL)に底層水と湖底堆積物を入れて密封した。現場脱窒活性測定用の瓶には、アセチレン(7 mL)を添加し、6 時間現場の温度で培養し、培養終了後ホルマリンを添加し脱窒細菌の活性を停止させた後、 N_2 ガスで気相をつくり、生成した N_2O をガスクロマトグラフ(Shimadzu GC-14)で測定した。最大脱窒活性測定用の瓶については、 N_2 ガス、アセチレン(7 mL)および KNO_3 を 5 mgN/L になるように添加し、6 時間 25°C の条件下で培養した。

・高濃度酸素水が脱窒活性に及ぼす影響に関する検討実験

液相の DO 濃度を 1、5、9、12、16 および 27 mgO₂/L にそれぞれ調整し、実験を行った。アセチレン(7 mL)および KNO_3 を 5 mgN/L になるように添加し、暗所 25 °C の条件下で培養して、6 h、72 h(3 日後)、

168 h(7 日後)、336 h(14 日後)に N_2O を定量した。なお、アセチレンは 3 日おきに補充した。

3. 結果と考察

本研究では、高濃度酸素水が脱窒活性に及ぼす影響について、島根県布部ダムでの経月変化と室内実験を通して検討を行った。

布部ダムの経月変化より、全体を通して堆積物表層では高い脱窒活性が見られた。基質である NO_3^- が間隙水中に豊富にあることから表層で高い脱窒活性が見られたと考えられる。特に WEP システムが稼動していた 6~8 月、10 月では現場脱窒活性、最大脱窒活性ともに表層から 10 cm までのところで高い活性を示した。

また、高濃度酸素水が脱窒活性に及ぼす影響について室内実験で検討したところ、DO 濃度 10 mgO₂/L 以下では良好な脱窒活性がみられたが、特に DO 濃度 27 mgO₂/L では、抑制され脱窒活性に影響を与えた。(Fig. 1)

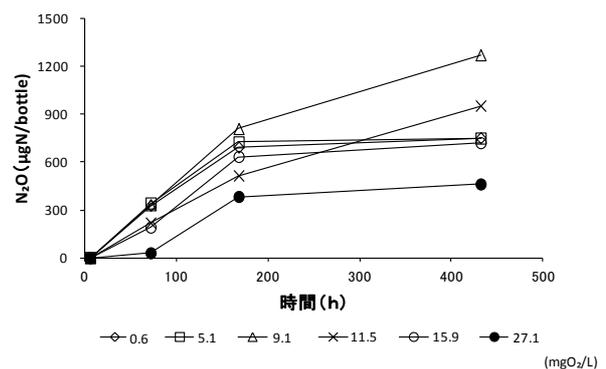


Fig. 1 高濃度酸素水が脱窒活性に及ぼす影響

宍道湖及び布部ダムにおける湖底堆積物中溶存鉄の挙動について

*野々村 和樹¹⁾・三上育英¹⁾・奥村 稔¹⁾・清家 泰¹⁾

1) 島根大学大学院総合理工学研究科

1. はじめに

鉄は、湖底堆積物中において、主に Fe(II)として存在し、中には有機物と結合した状態(D-O-Fe)で存在しているものと考えられる。しかし、湖底堆積物中におけるこれら溶存鉄の挙動については不明な点が多い。また、湖底堆積物中における鉄は、リン酸イオン(PO₄³⁻)の湖底からの溶出に影響を及ぼし、それらは海水由来の硫酸イオン(SO₄²⁻)の還元物質である溶存硫化物(H₂S + HS⁻)によっても影響される。

そこで本研究では、分画定量(Fe²⁺, Fe³⁺, D-O-Fe)を行うことにより湖底堆積物中溶存鉄の挙動を把握するとともに、堆積物中における溶存鉄とリン酸イオン(PO₄³⁻)及び、溶存硫化物(H₂S + HS⁻)の関係について汽水・淡水湖を対象に比較・検討した。

2. 方法

実験操作は次の通りである。50 mL ガラスシリンジに湖底堆積物試料を 10 mL(淡水湖の堆積物試料は 5 mL)入れ、さらに窒素置換水 50 mL を加えて希釈し、0.2 μm フィルタユニットを用いてろ過した。ろ過水を、発色試薬のみ加えるもの、還元剤を添加するもの、ペルオキシ二硫酸カリウムを加えオートクレーブを用いて酸化分解させるものにそれぞれ 10 mL ずつ取り分け、フェナントロリン吸光光度法を用いて溶存二価鉄(Fe²⁺)、無機溶存鉄(Fe²⁺ + Fe³⁺)、溶存全鉄(Fe²⁺ + Fe³⁺ + D-O-Fe)を Shimadzu UV-1800-type 吸光光度計を用いてそれぞれ測定した。また、酸化分解を行った試料には還元剤を添加した後、2M 緩衝溶液を用いて pH 調整後、発色させた。定量された濃度差から、Fe²⁺, Fe³⁺, D-O-Fe の溶存量をそれぞれ算出した。

3. 結果と考察

本研究では、汽水湖である宍道湖と、淡水湖である布部ダムにおいて湖底堆積物中溶存鉄の挙動の比較を行った。Fig.1 に宍道湖湖心における湖底堆積物中溶存鉄(Fe²⁺, Fe³⁺, D-O-Fe)、溶存硫化物(H₂S + HS⁻)、リン酸イオン(PO₄³⁻)の鉛直分布を示す。

Fig.2 に布部ダムにおける湖底堆積物中溶存鉄(Fe²⁺, Fe³⁺, D-O-Fe)、溶存硫化物(H₂S + HS⁻)、リン酸イオン(PO₄³⁻)の湖底堆積物中の鉛直分布を示す。

まず、宍道湖湖心の湖底堆積物では、海水由来の硫酸イオンが存在するため、硫酸還元による高濃度の溶存硫化物が検出された。堆積物中の溶存鉄は、溶存二価鉄(Fe²⁺)よりも多くが有機物と結合した状態 (D-O-Fe)で溶存していた。これは、Fe²⁺が溶存硫化物と反応し、不溶性の硫化鉄(FeS)を形成したためと考えられる。また、リン酸イオンが高濃度で溶存していた。これは、鉄が硫化鉄を形成し、リン酸イオンがそのまま溶存していたためと考えられる。これらの結果から、汽水湖である宍道湖湖心の湖底堆積物中では、不溶性の硫化鉄を形成するため、溶存鉄の多くは有機物と結合した状態(D-O-Fe)で存在していたものと考えられた。

一方、布部ダムの湖底堆積物では宍道湖の湖底堆積物に比べ溶存鉄濃度が高く、多くが Fe²⁺として溶存していた。また、溶存硫化物、リン酸イオンはほとんど検出されなかった。淡水湖である布部ダムでは、溶存硫化物が検出されなかったことから、そのまま Fe²⁺として溶存していたものと考えられる。しかし Fe³⁺も高濃度で溶存していた。一般に Fe³⁺は不溶性の水酸化物や酸化物(Fe(OH)₃, Fe₂O₃)を形成するため、溶存しにくいものと考えられる。この原因については、現在検討中である。

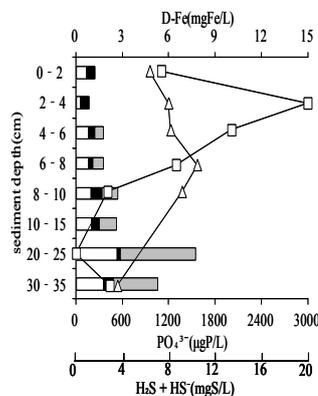


Fig.1 宍道湖湖心における湖底堆積物の鉛直分布 (2011年7月26日)

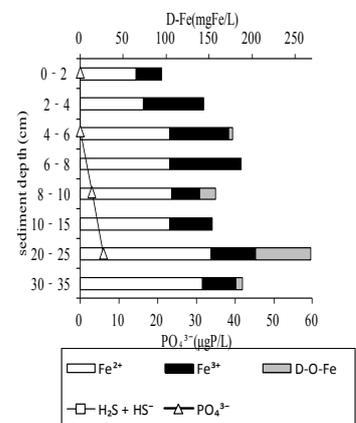


Fig.2 布部ダムにおける湖底堆積物の鉛直分布 (2011年6月14日)

相模湖における水質汚染の実態とその対策についての考察

*咸泳植・小堀洋美・常田康弘・岩崎翔・上原勝志・磯川茂克・松隈淳

(東京都市大学・環境情報学部)

1. はじめに

相模湖は横浜市、川崎市を含む神奈川県重要な水道水源であるが、夏季にアオコが発生する富栄養化の特徴を表し、水道水源としての水質が低下することが懸念されている。平成22年度神奈川県公共用水域及び地下水の水質測定結果によると、相模湖の全リン濃度と違って2001年から2010年までの近年10年間相模湖の窒素濃度(全窒素として)が生活環境の保全に関する環境基準をすべて超過していた。本研究では相模湖の富栄養化の主な原因として窒素の過剰な負荷について着目し研究を行ってきた。なお、その対策についても議論したい。

2. 材料と方法

研究サイトは、神奈川県北部に位置している相模湖であり、2004年11月～2007年9月までのデータを用いて解析した。採取した試水は0.45 μm のメンブレインフィルターでろ過後、測定するまで-20 $^{\circ}\text{C}$ で冷凍保存した。試水中の硝酸(NO_3^-)、亜硝酸(NO_2^-)、リン酸(HPO_4^{2-})は、イオンクロマトグラフィー(SHIMADZU, PIA-1000)で、アンモニウム(NH_4^+)は、インドフェノール青吸光度法(HITACHI, U-1500)により測定した。

3. 結果および考察

相模湖における水質分析の結果、pHは7.0～9.2の範囲で、平均8.1とアルカリ性を示した。相模湖水のpHの環境基準許容範囲はpH6.5～8.5で、本調査結果の30%の割合でpH8.5を超過した。なお、相模湖水のpHと電気伝導率(EC)との有意な相関性は得られなかったが、電気伝導率が低いほど相模湖水のpHが上昇する傾向が見られた(図1)。この結果は、大気由来の二酸化炭素が相模湖水中に溶解し炭酸水素イオンになる過程で光合成をする際、富栄養化の指標であるアオコを含む藻類の体内に炭素が吸収され、酸素分子と水酸化物イオンが生成されるためにpHが上昇したと考えられる(式1)。



なお、式1から炭酸水素イオン濃度が低下したことにより総無機イオンの濃度も減少し電気伝導率も低くなるという解釈ができる。

相模湖水の亜硝酸イオンとリン酸イオンは殆ど検出されなかった(検出限界以下: $\text{NO}_2^- < 0.029 \text{ mg L}^{-1}$ 、 $\text{HPO}_4^{2-} < 0.072 \text{ mg L}^{-1}$)。一方、相模湖水の無機態窒素イオン(NO_3^- 、 NH_4^+ 、 NO_2^-)の中で最も高い割合を示したのは、無機態窒素濃度の平均約96%を占める硝酸態窒素で0.42～1.69 mg N L^{-1} (平均1.11 mg N L^{-1})を示した。なお、相模湖水のアンモニウム態

窒素は0～0.27 mg N L^{-1} (平均0.05 mg N L^{-1})の範囲であった。2005年夏季の7月・8月には相模湖水のアンモニウム濃度が無機態窒素の38%・12%まで急増した。この結果は窒素がアンモニウムの形態で相模湖に流入され、やがて硝酸に変わる硝化過程で説明ができる。

以上の結果から、相模湖の水質は水道水源として国が定めている水質基準を満たしておらず、顕著に低下している。特に、相模湖において窒素が常に過剰な状態にまで達している難問を解決できる方法を模索することが急務であろう。相模湖の窒素過剰については、(1)相模湖水の窒素濃度はすべてのデータから国が定めた環境基準を大幅に超過したこと、(2)常田ら(2005)、咸ら(2011)、咸ら(2012)より、相模湖水の水源林と地下水の過剰な窒素が相模湖に流れ込むこと、(3)行政データより、相模湖の上流域に該当し山梨県から発する相模川流域由来の窒素汚染源から由来していると解析できる。

以上に基づき対策を考えると、相模湖の水源を含めて相模川流域全体に累積・流出されている窒素の制御は量と面積的に工学的な処理手法だけでは不可能に近い。したがって、短期的な対応にならないように、森林整備などの自然の復元・浄化能力を蘇らせる方法を選ぶべきである。政策の面においても相模湖周辺の地域は相模湖の水源を守る責任と権利があるが、相模湖の水質保全のためには根本的に相模川流域全体(中央政府、地方政府、地域住民、企業、研究機関)の協力無しでは成り立たない話である。

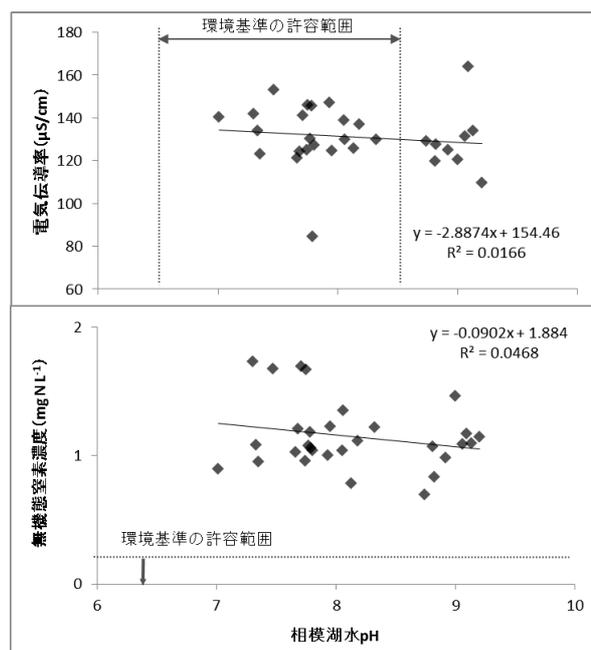


図1. 相模湖水 pH、電気伝導率、無機態窒素濃度

灌漑用ため池の水文環境が水質に及ぼす影響

*山田佳裕(香川大・農学部), 福田竜也(愛媛大・院・農学研究科)

1. はじめに

香川県では、全国に比べて降水量が少ないため、水資源は少なく、その確保を目的として多くのため池が作られている。一般的に、ため池では水の滞留時間の増大により、植物プランクトンが増殖する。富栄養なため池における水の運用は、結果として河川水質に影響を与える。香川県では流域のため池が河川の有機物源となっており、ため池の有機物汚濁のメカニズムを明らかにすることが流域の水環境保全にとって重要である。本研究では灌漑用ため池における合理的な水の運用にもとらう水文環境が池水の有機物濃度へ及ぼす影響について明らかにした。

2. 調査方法

調査は 2010 年 4 月～2011 年 12 月の期間に新川中流域に存在し、主要なため池である男井間池（貯水量 956000m³）、平田池（貯水量 210000m³）で行った。池の水源は、平田池は香川用水、上流のため池、男井間池は香川用水、新川、上流の小規模水路である。週 1~2 回の割合で池水を採取し、栄養塩類 {PO₄³⁻-P（リン酸態リン）、DIN（溶存態窒素）}、TP（全リン）、TN（全窒素）、Chla（クロロフィル a）、Pheo（フェオ色素）、PON（懸濁態有機窒素）、POC（懸濁態有機炭素）、SS（懸濁物）を分析した。

3. 結果及び考察

両池において、POC 濃度と Chla 濃度との間には正の相関がみられ（平田池 n = 118, R² = 0.40, p < 0.05、男井間池 n = 118, R² = 0.63, p < 0.05）、かつ、POC/Chla は平田池で 39、男井間池で 34 であることから、両池において POC の多くは植物プランクトンに由来するものといえる。

POC 濃度は平田池で 1.3 mg/L～32.8 mg/L、男井間池で 0.5 mg/L～26.6 mg/L であった。

2011 年 11 月の平田池を除いて、夏期と 11 月に POC 濃度が高くなった。また、11 月には SS 濃度も大きく増加した。ため池では、灌漑用水の需要が少なくなる秋以降に、底質改善等の目的で池水を放流して水位を下げる。SS 濃度と POC 濃度の増加はこの水位低下の途中で起こった。SS 濃度の増加と同時に、枯渇していた DIN 濃度が増加し、POC 濃度、TP 濃度も大きく増加した。11 月には両ため池への外部からの流入がないことから、これらの物質の増加は、池内に起因すると思われ、底泥由来のシルトや植物プランクトンの増加が原因であると考えられる。PO₄³⁻-P 濃度の増加は見られなかったが、TP 濃度が増加していることから、すぐに、植物プランクトンに利用されたものと考えられる。11 月に貯水量の減少がなかった 2011 年の平田池では、この時期に SS 濃度や POC 濃度の増加はみられなかった。これらのことから、水需要の少ない非灌漑期にため池の水を減少させることで、底泥が巻き上がり、枯渇していた栄養塩が供給されて、植物プランクトンが増加したと考えられる。

4. まとめ

ため池は水質改善を目的として非灌漑期に池水の放流を行っているが、底泥からの栄養塩の供給により、池内の POC 濃度が増加する上に、その高い POC 濃度の水を放流することで、河川の有機物濃度を増加させていると思われる。この時期は雨が少なく、河川水は堰で滞留しやすいことから、河川の有機物汚濁が深刻になる。

一方で、ため池では栄養塩の供給によって、植物プランクトンが増加する余地が大きくあることがわかった。このことは、香川用水等の栄養塩濃度が低い灌漑用水による希釈効果をうまく利用することにより、ため池の有機物汚濁が改善しうることを示している。これは、流域全体の水質改善に有効である。