

## シンポジウム開催のお知らせ

### 「新たな水環境基準（透明度、底層 DO 等）の導入に向けた動きと それに対応したモニタリング・研究のあり方」

開催予定日：2015年7月24日（金）

開催場所：国立環境研究所（大山ホール）

主催：国立環境研究所

協賛：滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

茨城県霞ヶ浦環境科学センター

近々湖沼の水質基準の改定が予定されており、底泥直上の酸素環境や湖水の透明度と  
いった新たな指標の導入が検討されています。しかしながら、底泥直上の定義、透明度  
の持つ意味など、実際に測定する場合に必要な情報が研究者や調査担当者間で共有され  
ているとは言いがたいのが現状です。

国立環境研究所では摩周湖等の湖沼において、透明度に関する長期モニタリングを実  
施すると共に、透明度と水質との関係に関する理論研究を行ってきました。また、底泥  
表層の底質の酸素消費量(SOD)や底泥間隙水の水質およびガス組成に関わる知見も近年  
集積されつつあり、多角的に底泥表層環境を解析することが可能になってきました。

そうした状況を踏まえて、湖沼、河川の水質関係にたずさわる研究者・担当者の皆様  
にご参集いただき、新たな水質基準の検討状況の報告、湖沼における透明度や底泥直上  
の溶存酸素のモニタリング実施例の紹介、透明度の決定機構や底泥での酸素消費に関わ  
る研究成果の発表を行うシンポジウムの開催を計画いたしました。

シンポジウム事務局 [sympo150724@nies.go.jp](mailto:sympo150724@nies.go.jp)

TEL: 029-850-2733 Fax: 029-850-2569

なおご不明な点等ございましたら、下記連絡先までお問い合わせください。

国立環境研究所 地域環境研究センター 湖沼・河川環境研究室

高津文人 kohzu@nies.go.jp, 小松一弘 kkomatsu@nies.go.jp

## シンポジウム

### 新たな水環境基準（透明度、底層 DO 等）の導入に向けた動きと それに対応したモニタリング・研究のあり方

2015 年 7 月 24 日（金）13：30～

於：国立環境研究所

- 13:30～13:35 開会挨拶  
国立環境研究所 理事長 住 明正
- 13:35～13:40 開催趣旨説明  
今井 章雄（国立環境研究所）
- 13:40～14:00 新たな水質指標導入に向けた動き  
柳田 貴広（環境省 水・大気環境局水環境課）
- 14:00～14:20 新たな水質指標の策定方針と課題  
福島 武彦（筑波大学）
- 14:20～14:40 琵琶湖における水質の課題と新たな水質指標について  
早川和秀（滋賀県琵琶湖環境科学研究センター）
- 14:40～15:00 霞ヶ浦における透明度及び底層 DO 濃度のモニタリングについて  
神谷 航一（茨城県霞ヶ浦環境科学センター）
- 15:00～15:20 コーヒーブレイク
- 15:20～15:40 宍道湖における透明度・底層 DO の実態  
神谷 宏（島根県保健環境科学研究研究所）
- 15:40～16:00 諏訪湖における透明度と底層溶存酸素の変遷  
宮原 裕一（信州大学山岳科学研究研究所）
- 16:00～16:20 高い透明度の形成機構 ―摩周湖を例として―  
田中 敦（国立環境研究所）
- 16:20～16:40 底泥表層の酸素消費速度と物理構造の解析  
霜鳥 孝一・高津 文人（国立環境研究所）
- 16:40～17:10 総合討論（司会：今井 章雄）
- 17:10～17:15 閉会挨拶  
国立環境研究所 理事 原澤 英夫
- 17:15～18:00 歓談

# 新たな水質指標導入に向けた動き

柳田 貴広

(環境省水・大気環境局水環境課)

## 1. これまでの検討状況について

国民の実感にあった分かりやすい指標により、望ましい水環境の状態を示すことで、良好な水環境の実現に向けた施策を効果的に実施する必要があることから、平成 25 年 8 月に環境大臣から中央環境審議会に対し、「水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準の見直しについて」諮問を行った。

水環境部会に設置された生活環境項目環境基準専門委員会（以下「専門委員会」という。）において魚介類等の水生生物の生息や海藻草類等の水生植物の生育に対して直接的な影響を判断できる指標、国民が直感的に理解しやすい指標として底層溶存酸素量、透明度（指標としての名称は沿岸透明度）に着目し、生活環境項目環境基準の追加等について、これまで 6 回にわたり審議が行われている。

現在、専門委員会で検討されている内容について 2. 以下に示すが、本稿は平成 27 年 7 月 7 日に開催された第 6 回専門委員会資料に基づくものであり、現時点での案であることに留意する必要がある。

## 2. 底層溶存酸素量について

### (1) 目標の設定について

水域の底層を生息域とする魚介類等の水生生物や、その餌生物が生存できることはもとより、それらの再生産が適切に行われることにより、底層を利用する魚介類等の水生生物の個体群が維持できる場を保全・再生することを目的に、底層溶存酸素量の目標設定の検討が行われている。

貧酸素に関する急性影響試験（貧酸素耐性試験）により評価される致死濃度に着目し、関連する文献等の知見を活用している。致死濃度は、感受性の特に高い個体の生存までは考慮しないものとして、24 時間の曝露時間における 95% の個体が生存可能な溶存酸素量（24hr-LC5：貧酸素耐性評価値）として整理されている。

### (2) 位置づけ及び目標値について

底層溶存酸素量の低下は、水生生物の生息そのものに影響するとともに、水環境の汚染を通じ生活環境の保全に影響を及ぼすおそれがある。このため、水生生物の保全等の観点から水質汚濁の改善に関する施策を総合的にかつ有効適切に講ずる必要があると認められることから、海域及び湖沼を対象として、底層溶存酸素量を環境基準として、以下の表のとおり設定することが適当であるとしている。

表 底層溶存酸素量の目標値

| 類型   | 類型あてはめの目的  | 基準値           |
|------|--|---------------|
| 生物 1 | <ul style="list-style-type: none"><li>・生息段階において貧酸素耐性の低い水生生物が、生息できる場を保全・再生する水域</li><li>・再生産段階において貧酸素耐性の低い水生生物が、再生産できる場を保全・再生する水域</li></ul>                      | 4.0mg/L<br>以上 |
| 生物 2 | <ul style="list-style-type: none"><li>・生息段階において貧酸素耐性の低い水生生物を除き、水生生物が生息できる場を保全・再生する水域</li><li>・再生産段階において貧酸素耐性の低い水生生物を除き、水生生物が再生産できる場を保全・再生する水域</li></ul>        | 3.0mg/L<br>以上 |
| 生物 3 | <ul style="list-style-type: none"><li>・生息段階において貧酸素耐性の高い水生生物が、生息できる場を保全・再生する水域</li><li>・再生産段階において貧酸素耐性の高い水生生物が、再生産できる場を保全・再生する水域</li><li>・無生物域を解消する水域</li></ul> | 2.0mg/L<br>以上 |

### 3. 沿岸透明度について

#### (1) 目標の設定について

水生植物の保全の観点からの沿岸透明度については、海藻草類及び沈水植物等の水生植物がその生活史を通じて生長、生残して再生産が行われることにより、水生植物の生育が維持できる場を保全・再生することを目的に目標設定の検討が行われている。海域においては海藻草類を対象に、湖沼においては沈水植物を対象に、それぞれの生育に必要な水中光量を確保できる条件について、水生植物の分布下限水深と必要な透明度との関係を求めている。

親水利用の保全の観点からの沿岸透明度については、親水利用の目的として、自然環境保全、日常的親水に分類し、目標設定の検討が行われている。それぞれの利用目的に対し、既存の環境基準の設定の検討資料のうち透明度をもとに基準値を設定した資料、親水利用に関連する既往の指標等、現状の透明度と親水利用の関係に係るデータを活用している。

#### (2) 位置づけ及び目標値について

沿岸透明度については、水環境の実態を国民が直感的に理解しやすい指標であることを鑑み、指標として設定することは有効であると考えられるものの、その位置付けについては、環境基準として位置づけるよりも、むしろ、地域の合意形成により、地域にとって望ましい目標値（水生植物の目標水深に応じた透明度、親水利用の目的に応じた透明度）として設定することが適当であるとしている。

水生植物の保全の観点からの沿岸透明度の目標値は以下の計算式から導出することとしている。

|   |   |
|---|---|
| (海域) ①アマモを保全対象種として設定した場合                                    | 目標水深 $Z$ に対する透明度： $X=0.95 \times Z$       |
| ②アラメを保全対象種として設定した場合   | 目標水深 $Z'$ に対する透明度： $X=0.83 \times Z'$     |
| ③カジメを保全対象種として設定した場合   | 目標水深 $Z''$ に対する透明度： $X=0.64 \times Z''$   |
| (湖沼) 保全対象種をクロモ、エビモ等（維管束植物）、シャジクモ、ヒメフラスコモ等（車軸藻類）の沈水植物に設定した場合 | 目標水深 $Z'''$ に対する透明度： $X=0.64 \times Z'''$ |

親水利用の保全の観点からの沿岸透明度の目標値は、親水利用行為の例やこれまでに得られた全国的な知見、当該水域の過去及び現在の透明度等を参考としつつ、水域の利水状況や特性、地域住民等のニーズ等に応じて目標値を設定することとしている。

### 4. おわりに

水生生物の生息への影響等を直接判断できる指標である底層溶存酸素量や、国民が直観的に理解しやすい指標である沿岸透明度といった、水環境の状態を表す新たな目標の設定により、国民の水環境に関する関心が高まるとともに、良好な水環境の実現に向け、地域における水環境保全施策が促進されることを期待したい。

# 新たな水環境基準の策定方針と課題

福島 武彦  
(筑波大学)

## 1. はじめに

現在、新たな環境基準として底層溶存酸素量、地域の望ましい水質目標として沿岸透明度が検討されているが、その設定に向けての基本的な考え方などを紹介し、今後に向けての課題を示す。

## 2. 他の水環境基準との関係

- (1) NP 基準：深水層 DO、透明度、濁質量との関係で基準値が決定されている意味で関連深い。
- (2) 水生生物の保全に関わる環境基準：底層 DO、透明度（沈水植物）は同じ目的。
- (3) COD、NP 基準：利水目的の満足という観点で、透明度（自然環境保全）、透明度（親水）。
- (4) 水循環基本法：親しみやすく、生物への配慮の観点で関連。

## 3. 基準運用の問題点

### (1) クライテリア

親水性に関するデータが不足、耐性データのない魚介類が多い

### (2) 当てはめ

基準達成と利水障害の関係（水草の異常繁茂、魚類生産の低下、沈水植物の種類の考慮、…）、過去の情報（昔の沈水植物や魚種分布域、自然的要因かどうかの判定）、地域での目標設定（合意形成）

### (3) 測定

底層 DO：底面からの距離、透明度：個人差、水草繁茂

### (4) 判定（+測定）

底層 DO：最小値の推定、水域での判定、透明度：岸近くでの値の推定

## 4. 予測と対策の手法

### (1) 底層 DO

予測：SOD, WOD, 表層と下層間の酸素移行量

対策：流入負荷削減、酸素供給、鉛直混合、底泥浚渫、底泥被覆、底泥非活性化、浚渫域の埋立、…

### (2) 透明度

予測：SS や CDOM 流入量、一次生産量、底泥巻き上げ量、粒子の沈降速度

対策：流入負荷削減、沈水植物回復（底質改善も含めて）、底泥被覆、細粒成分の凝集、…

## 5. 今後に向けて

下記の事項の検討が必要であろう。

- ノンポイント汚染源対策
- 水域管理者、地方自治体の負担
- 環境省の役割
- 住民参加の促進
- 地球温暖化防止、循環型社会、生物多様性の向上との関係
- 地球温暖化の影響（水温、海面面上昇、…）
- 富栄養化・貧栄養化との関係（漁獲量との関係）
- 水循環基本計画（流域土砂管理、…）

# 琵琶湖における水質の課題と新たな水質指標について

○早川 和秀・岡本 高弘・奥居 紳也  
(滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)

## 1. はじめに

有機汚濁等の生活環境基準は、湖沼では達成率が低く、国民の実感にあっていないなどの課題がある。環境省では、国民の実感にあった分かりやすい指標として、透明度と底層溶存酸素(DO)の導入が検討されている。一方、有機汚濁の環境基準である COD について、琵琶湖では基準値が達成されていないことから、その原因や代替の指標について議論が進められてきた。本講演では、まず、琵琶湖における透明度と底層 DO の状況を報告して、環境基準化やモニタリング計画の課題について紹介する。さらに、我々が行ってきた COD に関する調査研究結果と議論について紹介する

## 2. 透明度と底層 DO の状況について

透明度は、国土交通省と滋賀県、水資源機構による定期モニタリングなどデータが蓄積している。琵琶湖の透明度は、水中の粒子濃度、主に植物プランクトンに依存している。琵琶湖南湖では近年の水草の繁茂によって透明度が改善しているが、大量の水草繁茂が航行障害を起こすなど大きな問題となっている。

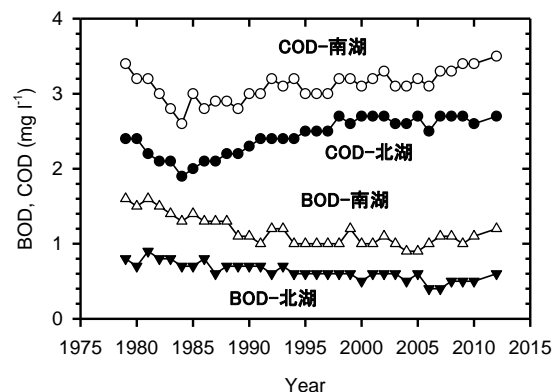
底層 DO は、北湖での湖底の酸素低下の恐れから、第一湖盆でモニタリングされてきた。しかし、それ以外の点ではデータに乏しく、今後の類型指定や基準点の設定に向けたモニタリングが必要である。南湖では、湖心部で底層 DO のモニタリングがされているが、観測されていなかった時期があるなどデータは十分でない。近年は水草の大量繁茂によって、夜間に底層 DO が枯渇したとの報告もあり、南湖の底層 DO のモニタリングについては観測点や方法を含めて基礎的なところから検討が必要である。

## 3. COD に関する調査検討と新たな指標の導入について

琵琶湖では、1984 年以降、経年的に BOD が低下して COD が増加する乖離現象が続いている。この現象では湖水中の難分解性有機物の蓄積が懸念され、COD の環境基準の達成を妨げるものとして、その原因や解釈について研究が行われてきた。

滋賀県琵琶湖環境科学研究センターでは、100 日分解試験により、難分解性有機物を定義して、湖水や河川水、排水中に含まれる難分解性有機物の分布や収支について調べてきた。その結果、難分解性有機物は湖水中に一定量含まれ、その起源は湖内性、外来性が半々であることがわかってきた。また、難分解性有機物の代表としてフルボ酸を用いて、生物の急性毒性評価を行ったが、現濃度での毒性は見出されなかった。

COD で検出された有機物が難分解性ゆえ酸素消費するような有機物でなく、生物に直接的な毒性も示さないとすれば、環境基準を達成できない点は行政上の課題ではあるが、水質保全上で喫緊に対処すべき課題ではないということになる。一方、水質指標としての COD は、これまでの水域における有機汚濁負荷の削減に大きな役割を果たしてきたが、分析精度や基準値の設定などいくつかの課題がある。我々は、COD の過去から経緯や、状来の琵琶湖に必要なとされる水質指標などの観点から問



琵琶湖の COD, BOD の経年変動

題点を整理・検討して、新たな有機物の管理指標として全有機炭素濃度（TOC）を提言した（津田ら 2014、早川ら 2015）。

環境基準は主に利水ための水質保全として定められており、その枠組みを変えて COD による基準運用の見直すわけではない。琵琶湖総合保全整備計画（マザーレイク 21）の改訂では、水質保全を維持しながら生物のにぎわう生態系保全を目指す、新たな環境保全の方向へ舵をきった。有機物指標も排水からの有機汚濁を削減するだけでなく、生態系を支えるための指標が意識されている。有機物総量を表す指標として TOC を用い、流域や湖内での物質循環を把握して、水質保全計画や生態系物質循環の把握に生かす形を模索し始めたところである。

#### 参考文献

- 1) 津田久美子・早川和秀・岡本高弘: 有汚濁と環境基準—琵琶湖を例にして—。用水と廃水 56(3), 59. (2014)
- 2) 早川和秀・岡本高弘・五十嵐恵子・古角恵美・廣瀬佳則・一瀬諭・古田世子・田中稔・永田貴丸・津田久美子・清水芳久・日下部武敏・三崎健太郎・中野伸一・藤嶽暢英・山田悦・布施泰朗・田中仁志・杉山裕子・丸尾雅啓: 琵琶湖における新たな水質指標に関する研究。滋賀県琵琶湖環境科学研究センター試験研究報告書平成 23～25 年度 10, 52. (2014)

#### 謝辞

有機物の指標検討では、琵琶湖環境科学研究センター職員のほか、京都大学清水教授、日下部研究員、三崎研究員、中野教授、神戸大学藤嶽教授、京都工芸繊維大学山田教授、布施助教、岡山理科大学杉山准教授、滋賀県立大学丸尾准教授、埼玉県環境科学国際センター田中専門研究員、琵琶湖有機物勉強会有志など多くの方々にご議論いただいたことを深く御礼申し上げます。

# 霞ヶ浦における透明度と底層 DO 濃度の観測について

○神谷 航一・大内 孝雄・中川 圭太・相崎 守弘  
(茨城県霞ヶ浦環境科学センター)

## 1. 霞ヶ浦の概要

霞ヶ浦（西浦・北浦・常陸利根川の総称）は茨城県の南東部に位置し、湖面積 220 km<sup>2</sup>、平均水深 4.0 m（最大 7.0 m）と広く浅い湖沼である。56 本の流入河川に対し流出河川は 1 本であり、滞留時間は約 200 日と比較的長い。これまで様々な水質汚濁防止対策が講じられており、流入河川水質は改善しているが、湖内の COD, TN, TP の環境基準を達成できていない状況が続いている。

## 2. 霞ヶ浦モニタリング調査の概要

茨城県霞ヶ浦環境科学センターが開所した平成 17 年度以降毎月 1 回、16 地点で調査を実施している。現地では Table 1 の項目について観測し、水中ポンプを用いて水面下 50 cm と底泥直上 50 cm の湖水を採取している。

採取した湖水は実験室に持ち帰り、SS, COD, TOC, 窒素, りん, DO, Chl-a 濃度の測定に加え、動・植物プランクトンの計数を行っている。なお、DO 濃度については現場観測に加え、ウインクラージャ化ナトリウム変法による測定も実施している。

Table 1 現地における観測項目と方法

| 項目  | 観測深度                    | 観測機器   |
|-----|-------------------------|--------|
| 透明度 | -                       | セッキー板  |
| DO  | 鉛直分布<br>(50 cm 間隔)      | 多項目水質計 |
| 水温  |                         |        |
| pH  | 水面下 50 cm<br>底泥直上 50 cm |        |
| ORP |                         |        |
| EC  |                         |        |

## 3. 霞ヶ浦の透明度の推移

霞ヶ浦における環境基準点の年平均透明度 (Fig. 1) は、昭和には 0.8 m 前後であったものの、平成に入り急激に低下し、平成 4 年から平成 10 年ぐらいまでは 0.4 m と非常に悪かった。その後は回復するものの、西浦においては平成 18 年まで無機態懸濁物の影響により湖水の白濁現象が見られた。西浦湖心と北浦の湖心域である釜谷沖における近年の透明度を月別に見ると (Fig. 2)、平成 18~22 年度の夏までは年平均値が低く季節変動も見られない状況であったが、平成 22 年度の夏以降は年平均値が上昇し季節変動が見られるようになった。この変化は全域で確認されている。白濁期を除く時期の透明度の変動要因は、主に植物プランクトンといった POM によるものである<sup>1)</sup>。白濁期前後の平成 4~10 年と平成 18~22 年には糸状藍藻類の *Planktothrix* が一年中優占しており、結果として一年を通じて COD が高かった。

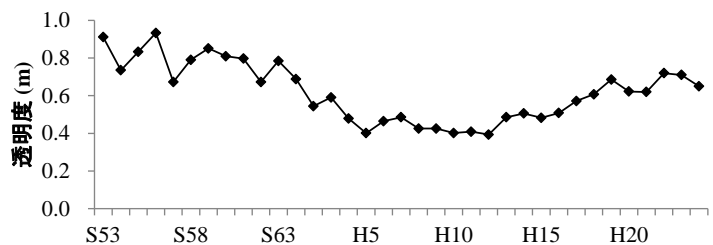


Fig. 1 霞ヶ浦における透明度の長期変化（公共用水域データ）

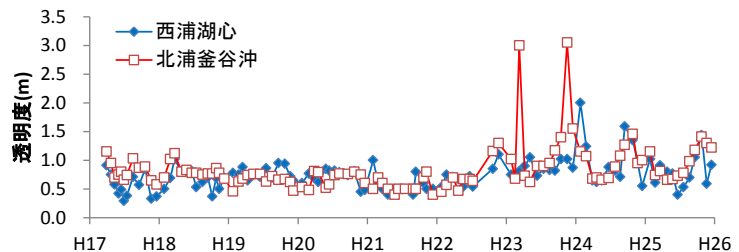


Fig. 2 霞ヶ浦における平成 17 年度以降の透明度の経月変化



#### 4. 霞ヶ浦の底層 DO 濃度の推移

霞ヶ浦において底層 DO 濃度が低下しやすい地域は、水深が 5m より深い場所と言われており<sup>2)</sup>、主に湖心域と窪地である。底層 DO 濃度は夏季に低下しやすいが、低い状況は長くは続かず、好気、嫌気条件が日変動するのが霞ヶ浦の特徴である。そのため、月 1 回の調査では日変動を正確に把握できていない。

また、霞ヶ浦で底層 DO 濃度が低下すると湖水中の TP 及び PO<sub>4</sub>-P 濃度が上昇することが確認されており、特に北浦の釜谷沖で顕著である (Fig. 3)。しかし、流入河川の TP 及び PO<sub>4</sub>-P 濃度は夏季に上昇していない<sup>3)</sup> ことから、りん濃度の上昇は底泥からのりんの溶出によるものと推測されている。

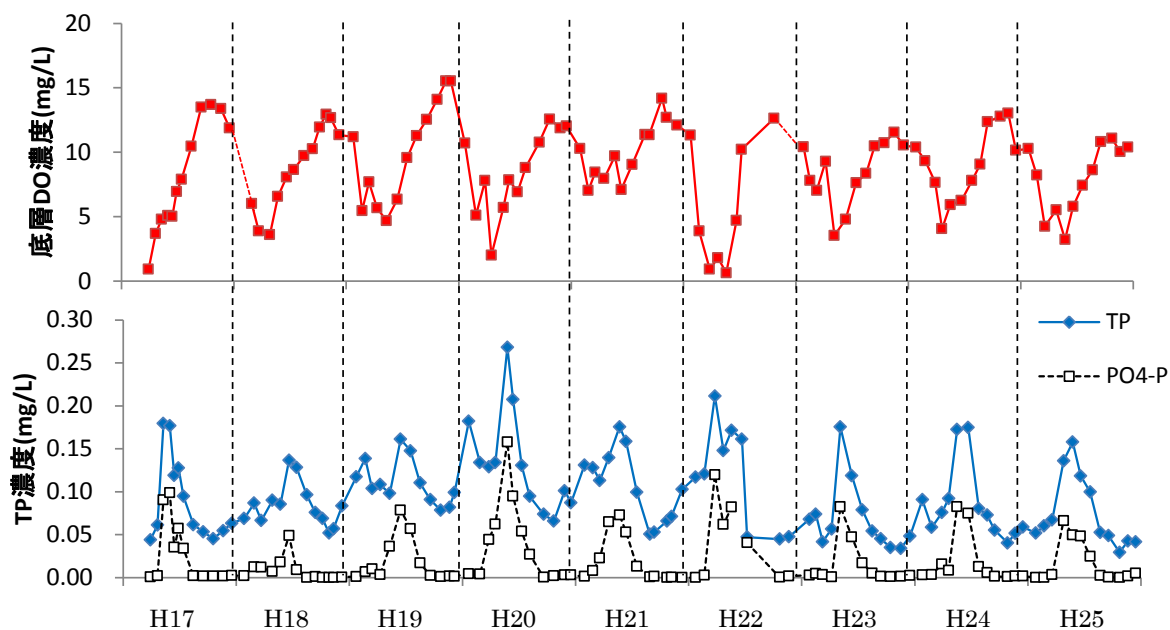


Fig. 3 北浦釜谷沖における底層 DO 濃度(上)と、表層 TP・PO<sub>4</sub>-P 濃度(下)

#### 5. 参考文献

- 1) 中村剛也, 相崎守弘: 霞ヶ浦に入射した光の減衰に対する懸濁物質の影響 - 光減衰機構の長期変遷 - . 陸水学雑誌, 第 76 巻, 3 号, (2015).
- 2) 小松伸行, 北村立実, 石井裕一, 北澤大輔: 霞ヶ浦における貧酸素水塊の現地観測. 茨城県霞ヶ浦環境科学センター年報, 第 3 号, (2007).
- 3) 石井裕一, 北村立実, 渡邊圭司: 集水域の土地利用状況による霞ヶ浦流入河川の分類とその特徴. 茨城県霞ヶ浦環境科学センター年報, 第 3 号, (2007).

# 宍道湖における底層 DO・透明度の実態

神谷 宏

(島根県保健環境科学研究所)

## 1. はじめに

宍道湖・中海は日本最大の連結汽水湖である。水深は比較的浅く、地形も複雑である(図1)。上流にある宍道湖は、大橋川を介して中海と繋がっており、潮汐の影響を受け中海から高塩分水が逆流する。宍道湖では夏季に藍藻類によるアオコが不定期に発生しており、1984年から2014年までの31年間に11回のアオコレベル4以上の発生が見られた。特に2010-2012にかけて3年連続で大規模なアオコが発生し、魚介類には実害はなかったが、アオコが発生させる2-プロパンチオール臭いが都市ガスの付臭剤によく似ていることから、アオコが集積しやすい宍道湖東部においてガス局や消防署への苦情が相次いだ。そのため、アオコの発生源や集積機構を明らかにすることを目的として、2013、2014年の2年間にわたり多地点で観測を行った。その結果の一部から宍道湖の透明度とDOの実態を説明する。

## 2. 調査方法

2013、2014年に図に示す宍道湖の東西南北4地点に近接した水深1,2,3,4mの場所と湖心において、6月の後半から10月頃まで、毎週1回ずつ採水を行った。現場において透明度やセンサーを用いた水温、電気伝導度(EC)及び溶存酸素濃度(DO)の測定を行った。各地点において表層水を採取し、様々な項目の分析を行った。

## 3. 結果及び考察

図2に湖心における2013年のEC(図2a)及びDO(図2b)の経時変化を示す。図2aから底層に塩分成層の消長が見られる。それと呼応して堆積物直上では貧酸素層が発生している。夏季においては塩分成層の発達と貧酸素水塊の発生は同時に発生している。塩分成層は風により容易に破壊されたり、風速によっては静振し、ごくまれに青潮現象を引き起こすが継続時間は短い。宍道湖において貧酸素になるのは水深の深いところに限定される。

図3は2013、2014年の各地点の透明度の最大、最小及び平均値を示している。1m及び2mについては全透が多かったため掲載していない。沿岸部は湖心に比べて透明度が高い。この理由はヤマトシジミの懸濁物ろ過能力によるものと考えられる。この二枚貝は宍

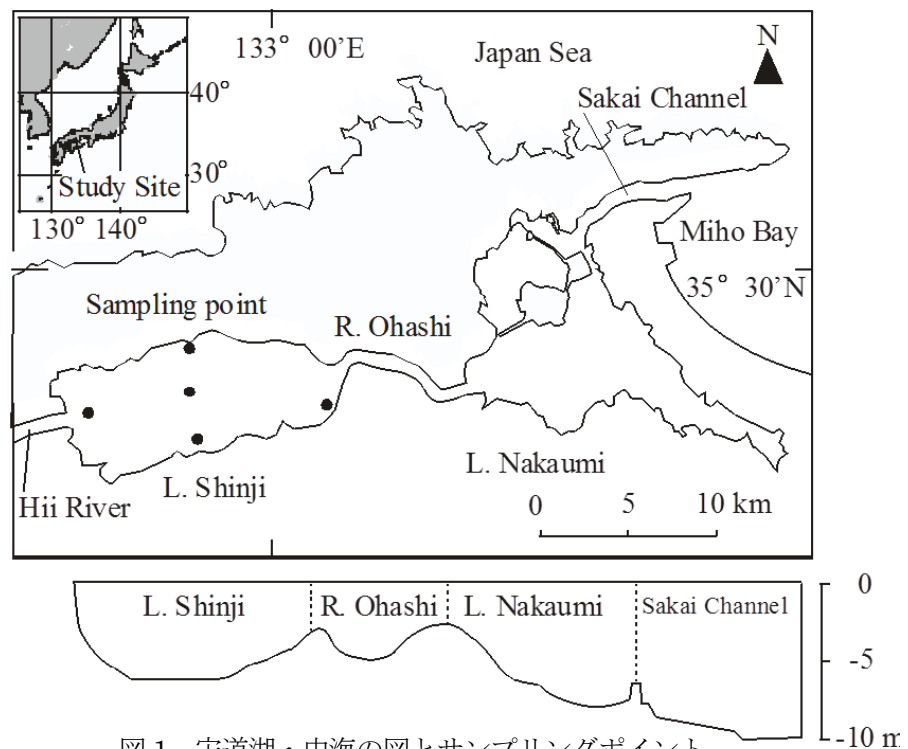


図1 宍道湖・中海の図とサンプリングポイント

道湖沿岸部の水深 4m 以浅に高密度に棲息しており、そのため沿岸部の透明度は湖心に比較して高いものと考えられる。通常市民が湖を観察する場合は湖岸からであり、沿岸での透明度が重要となるため、透明度のモニタリングを環境基準点のように深いところで測定することは現実に合わないかもしれない。

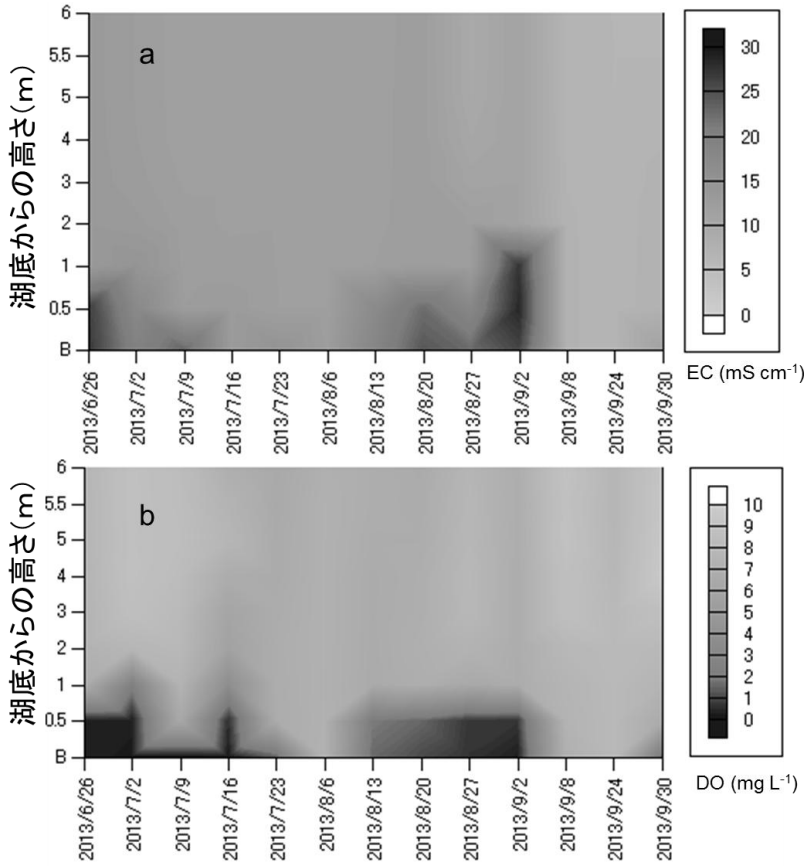


図2 EC及びDOのコンター図(2013)

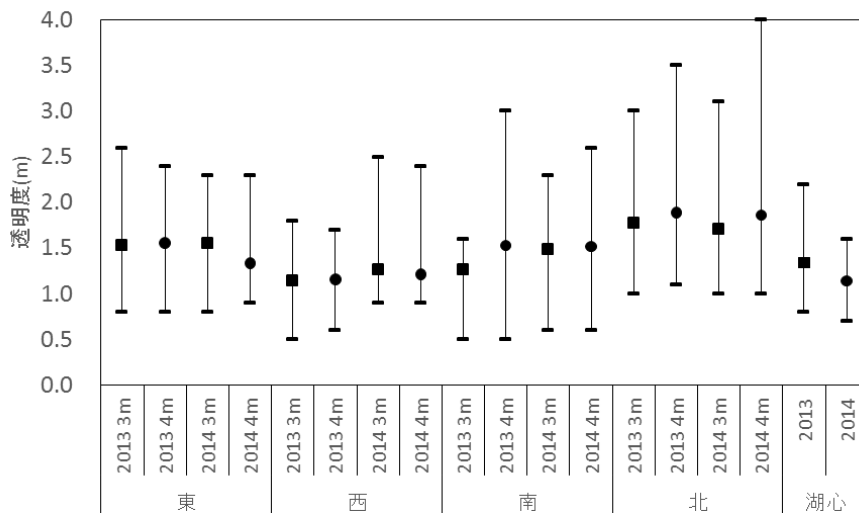


図3 2013,2014に調査した透明度の最大, 最小及び平均

# 諏訪湖における透明度と底層溶存酸素の変遷

○宮原 裕一<sup>1</sup>・吉田 知可<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>信州大学山岳科学研究所・<sup>2</sup>信州大学大学院)

## 1. はじめに

信州大学では、1977年より諏訪湖湖心で定期観測を行っている。この観測は10日毎あるいは隔週で行われ、新たな環境基準の導入が検討されている透明度や底層溶存酸素も高頻度で測定されている。本講演では、環境基準導入の一助となるべく、定期観測より得られた諏訪湖の透明度および底層溶存酸素濃度の変遷と、その要因について述べる。

## 2. 解析方法

諏訪湖の1977年から2014年の定期観測結果（一部未発表）<sup>1-4</sup>より、透明度と底層溶存酸素濃度の変遷について解析を行った。一部欠測期間については長野県による湖心での常時観測結果で補完した。透明度については、同時に測定された懸濁物質濃度、クロロフィル濃度、全窒素、全リン濃度との比較を行った。また、底層溶存酸素濃度については、湖心における貧酸素層（3mgO<sub>2</sub>/L以下）の厚みも評価し、水温成層との関係について解析した。

## 3. 結果および考察

諏訪湖の透明度は、1999年を境に大幅に改善し、それ以降はほぼ同程度で推移している。特に、夏期透明度の改善が顕著であり、1970年代後半には0.5m程度であった透明度が、1999年以降は1m以上で推移している。この間、全層水中のクロロフィルa濃度には顕著な変化が認められなかったが、表層水中のクロロフィルa濃度が減少していることが確認され、この透明度の改善は、いわゆるアオコの発生が減少したことを強く反映している。また、近年、夏期に比べその前後の循環期である春期や秋期の透明度の方が低く、諏訪湖の植物プランクトンの現存量は湖内で循環する栄養塩に依存するようになってきている。

一方、1998年頃から湖心底層で溶存酸素濃度が3mg-O<sub>2</sub>/L以下となる貧酸素状態が多く観測されるようになってきている。水深別の溶存酸素濃度から貧酸素層の厚みを求めたところ、こちらも増大していることが示された。これらはいずれも水温成層の強度を表す表層と底層の水温差と強く相関しており、湖水の鉛直混合が抑制され底層が貧酸素状態になると考えられた。諏訪湖の水温差は毎年4℃を超え、比較的浅い湖であるにも関わらず水温成層が継続するのがその特徴と言える。また、降雨後に流入河川および諏訪湖底層の水温が低下することから、水温成層の強化には、河川からの流入水が関与していることが示唆された。以上より、諏訪湖での貧酸素化には、温暖化傾向にともなう表層水の水温上昇と、集中豪雨等による河川水の流入量の増加が関与していると考えられた。

## 4. 結論

諏訪湖の透明度の改善には下水道整備にともなう栄養塩の流入量の減少が、底層溶存酸素濃度低下には気候変動にともなう表層水温の上昇が強く関与しているものと考えられた。また、両観測値に共通する要因として、水温成層の強化が挙げられる。今後、貧酸素対策として、夏期の水温成層を破壊すると、植物プランクトンの増殖を促進し、透明度を低下させる可能性がある。

また、現在諏訪湖では、ヒシが繁茂し、水深が浅い場所でも水中溶存酸素濃度の低下が見られている。これら沿岸部においても溶存酸素濃度の維持に取り組む必要がある。

## 参考文献

- 1) 沖野外輝夫, 花里孝幸 (1977) 諏訪湖定期調査:20年の結果, 信州大学諏訪臨湖実験所報告, **10**, 7-249.
- 2) 花里孝幸ら (2003) 諏訪湖定期調査(1997-2001)の結果, 信州大学山地水環境教育研究センター研究報告, **1**, 109-174.
- 3) 宮原裕一 (2007) 諏訪湖定期調査(2002-2006)の結果, 信州大学山地水環境教育研究センター研究報告, **5**, 47-94.
- 4) 宮原裕一 (2013) 諏訪湖定期調査(2007-2011)の結果, 信州大学山地水環境教育研究センター研究報告, **9**, 1-214.

# 高い透明度の形成機構 — 摩周湖を例として —

田中 敦 (国立環境研究所)

## 1. はじめに

摩周湖は 1931 年に 41.6m の透明度を記録しており、これは湖沼では世界最高の値であった。日本には、かつて 39m の透明度を記録した田沢湖のように 20m を超える透明度を持つ湖沼が多数あった。その多くは、流入汚濁負荷の増大や酸性化などの環境変化により透明度を低下させている。

摩周湖における透明度の遷移の原因の解明に加え、高い透明度の形成機構について、各湖沼の公表データや、摩周湖においては測器の係留による通年観測等の結果について報告する。

## 2. 方法

公表データとしては、以下のものを利用した。環境省が実施した自然環境保全基礎調査(ウェブ版, 冊子版)により小湖沼を含む全国 478 湖沼の透明度データを得た。湖沼を含む公共用水域の水質データは、“公共用水域及び地下水の水質データ”等の名称で毎年各都道府県が発行している(ウェブ版, 国立環境研究所環境 GIS 環境数値データベース)。透明度を考える上で重要なクロロフィル類については、ダウンロード項目にない。そのため、1980 年度以前のデータや必要項目については、適宜、冊子体、自治体 HP 等から補った。その他、各水産試験場報告、陸水学雑誌等の文献を参考にした。

摩周湖については、年数回の現地調査(水質、プランクトン、粒子、水中光)に加え、水深 20m, 40m 層にクロロフィル、濁度、光量子ロガー(JFE アドバンテック, Compact シリーズ)を係留し、結氷期を含む通年での 1 時間ごとのデータを得ている。輝度、照度、スカラー照度の光学データは TriOS 社の測器による、また、一部 *in situ* 水中光測定(ac-9, ac-s, Wet labs.)を行った。

## 3. 結果・考察

図 1 に全国湖沼の透明度の分布を示した。透明度の高い湖沼の多くは北海道・東北地方のカルデラ湖・火口湖であった。平均透明度が高い湖でも、年間の最低透明度が 5m を切ることが多いこと、田沢湖のように一時期高い透明度を示す湖沼があった。富栄養化が進んだ透明度の低い湖とクロロフィル量(生産量)や SS との関連は既に指摘されているが、今回関心があるのは、15m 以上の高い透明度の維持機構である。これを満たすのは摩周、支笏、倶多楽湖(北海道)、赤沼(青森県、公共用水域データなし)だけであった。支笏湖は、湖岸に温泉があり観光客の入込も多い。ヒメマス<sup>1)</sup>の生育を図るため 1920, 50 年代に窒素・リン肥料の投入実験が行われた。この時、プランクトン種と量の変化が認められたが、透明度変化のデータはない。洞爺湖は、1930 年代からの鉱山廃水の導入、停止による酸性化と中性化を経験した。1977 年の有珠山噴火時には降灰により透明度が激減した。粒子の流入に伴う透明度変化は一時的であった。摩周湖の場合、人為的に導入された魚類—動物プランクトンの関係は支笏湖と類似している。

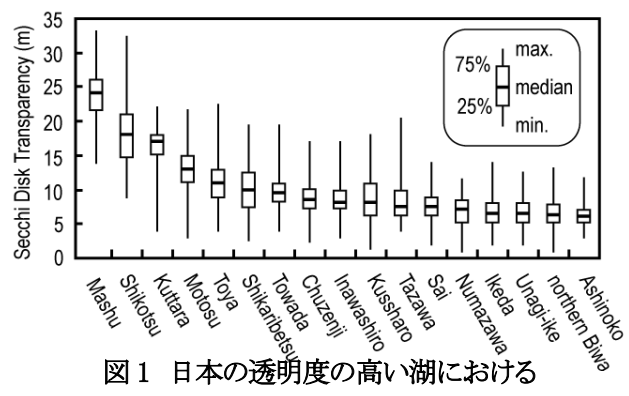


図 1 日本の透明度の高い湖における過去 26 年間(1981-2006)の観測データ

透明度は水中光の下向き減衰係数、消散係数、透明度板の分光反射係数、目の比視感度によって定まる透明度板輝度(S)と水中光バックグラウンド(BG)の S/BG 比が小さくなり、人間に区別できなくなるものと規定される。そこで、水中の下向き減衰係数を 2 深度への係留照度の変化、それに影響する植物プランクトンによる吸収・散乱と粒子散乱をクロロフィル、濁度に置き換えて解析した。もちろん、プランクトン等は深さ分布の構造を持っており、2 層のみでの解析は近似に過ぎない。水中光の吸収係数については、平均余弦  $\mu$  と照度反射率 R から、

Gershun の式により理論計算できる。

図 2 に 2009 年 5 月の透明度が 32.5m を示した時と、16.5m となった 8 月時の全吸収係数の波長—深さ分布を示す。5 月にはほとんど吸収帯が見られないが、8 月にはクロロ

フィル由来の強い吸収が 30m に、弱い吸収が 18m 付近に見られる。深い水深に吸収帯がある場合も、透明度ではそれを表現しきれない。

図 3 に摩周湖での係留観測から求めた下向き減衰係数、予想透明度と実測値を示す。春秋の全層循環期に透明度が一時的に高くなることがわかる。これは、低濁度、低クロロフィルで、かつ、栄養塩の回帰が少ない深層水の湧昇によるもので、潜在的には、深層に高い透明度を持つ水が存在することを示している。

プランクトン類の定量的観測からは、バイオマスに占めるピコ植物プランクトンの割合が高いことが分かっている。摩周湖では 1960 年代にヒメマスが人為的に導入され、その前後でエサとなるミジンコ、ケンミジンコ類が激減し、代わって小型のワムシ類が増えている。植物プランクトンの小型もそれに同調して進行したと考えている。プランクトンの小型化は、水中光の吸収及び散乱に効果的に寄与し、同じバイオマスでも透明度の低下につながる。

摩周湖においては、透明度の変化の契機となったのは、外来魚の導入によるプランクトン相の変化(小型化)によるものと推定される。また、小型の粒子が卓越する湖沼においては、光吸収よりも散乱の効果が大きい、これを観測により実測することは難しかった。そのため、水中濁度(低濃度専用機が必要)、無機粒子の粒度分布で代用をしている。

#### 4. 謝辞

本研究は、自然公園財団川湯支部、道総研、北大、北見工大、千葉大、山梨大、日大との共同研究である。元データや元図について、各研究機関・研究者に帰属するものがある。ここに感謝の意を表します。

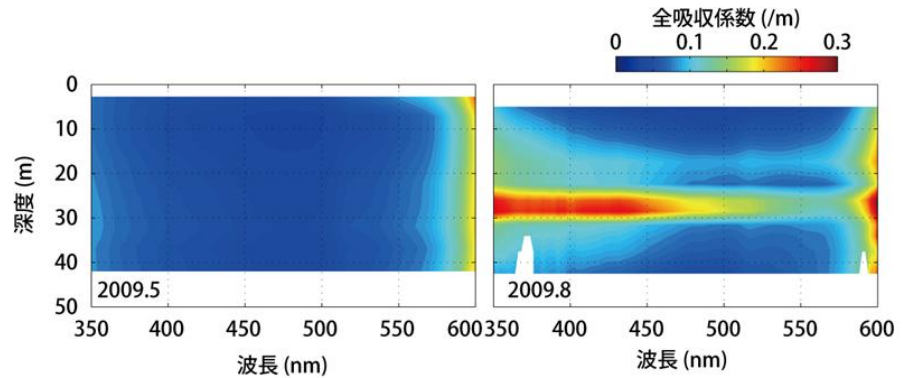


図2 摩周湖の全吸収係数の波長—深度分布

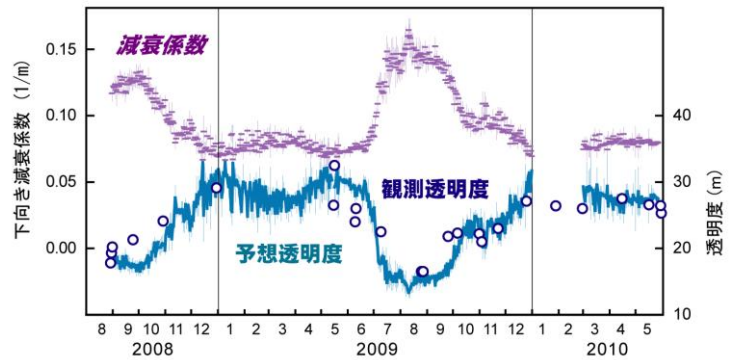


図3 摩周湖の透明度の季節変化



# 底泥表層の酸素消費速度と物理構造の解析

○霜鳥 孝一・○高津 文人  
(国立環境研究所)

## 1. はじめに

湖沼の底泥表面では有機物の分解等に伴い溶存酸素 (DO) が消費される。この底層の DO 消費速度 (Sediment oxygen demand, SOD) は水生生物の生態や底泥溶出に大きな影響を与えることから、環境指標としての注目が高まっている。湖沼の SOD は、底泥間隙水中の還元環境で溶出するイオン ( $Mn^{2+}$ や  $Fe^{2+}$ 等) が、酸化的な底泥直上で無機的に酸化される際の酸素消費と、底泥中の微生物による呼吸反応による酸素消費に大きく分けられる。後者の場合、呼吸の基質により多様な微生物機能群に分けられており、 $H_2S$  や  $CH_4$  を酸化するもの、有機物を酸化し炭酸ガスに変えるものなどがある。一方、SOD はこうした無機反応や微生物呼吸によるものだけではなく、イトミミズやユスリカ幼虫といった大型底生生物の呼吸によるものも含まれる。さらにこうした底生生物は無数の巣穴を底泥中に形成することで、底泥と底泥直上水との界面の表面積を大幅に増やすことから SOD を増加させる。以上のように、SOD は湖沼環境を評価する重要な要素である。しかしながら、現行の SOD の測定方法は、現地観測における機器開発費用や実験室内測定時に多くの手間を要するなどの困難が伴う。また、底泥中に形成された底生生物の巣穴構造を非破壊で把握する手法の開発は遅れている。そのため、本研究では SOD の簡便な測定法開発を行うと同時に人体の非破壊検査で多用されている MRI 測定技術を底泥コアの内部構造解析に応用し底生生物の巣穴構造解析を試みたのでその結果を報告する。

## 2. 調査方法

### 【SOD 測定】

霞ヶ浦湖心と琵琶湖南湖において、 $\phi 11\text{cm}$  底泥コア (内径  $11\text{cm}$ 、長さ  $30\text{-}40\text{cm}$ ) を採取した。採取したコアの直上水を取り除き、予め非接触測定用 DO センサーチップ (Presens) を張り付けた採泥用ガラスバイアル (内径  $1.28\text{cm}$ 、長さ  $12.5\text{cm}$ 、両端開口) で底泥表面から  $5\text{cm}$  以深までの泥を、層構造を乱さず採取した。ここに孔径  $0.2\mu\text{m}$  のメンブレンフィルターでろ過した現場の直上水を加え密閉した。バイアルは現場の直上水の水温で静置培養し (バイアル法)、蛍光式酸素センサー Fibox 3 (Presens) を用いて DO 濃度の時間変化を測定した。比較実験として、霞ヶ浦の底泥コアを用いて、既存の SOD 測定方法 ( $\phi 11\text{cm}$  底泥コアの直上水を攪拌しながら培養、コア培養法) でも SOD の測定を行った。

### 【ユスリカ幼虫添加実験】

$\phi 11\text{cm}$  の底泥コア 1 本あたり 9 匹ずつオオユスリカ幼虫を添加して培養した。実験開始後で MRI 測定を行い、巣穴構造と底泥間隙水の水質との関係性を解析した。攪乱を最小限に間隙水を少量抽出できる Rhizon Sampler により底泥間隙水を採水した<sup>1)</sup>。採水中の塩化物イオン濃度は IC25 Ion Chromatograph (Dionex) により分析した。測定誤差は  $\pm 0.1\%$  程度であった。

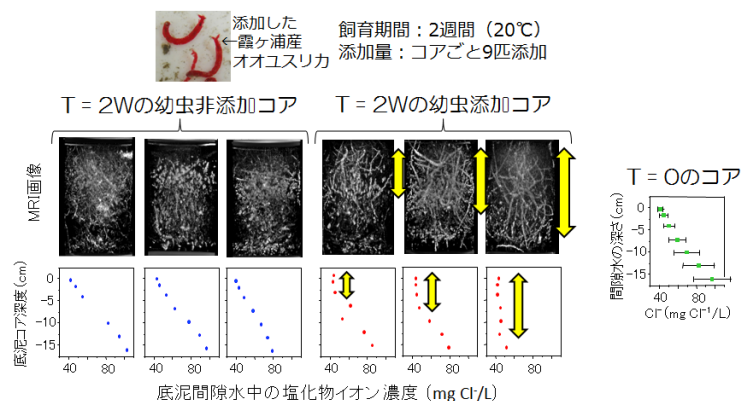


図1 ユスリカ幼虫添加実験の結果

実験は幼虫非添加コア 3 本と幼虫添加コア 3 本の計 6 本で行った。

幼虫添加コア 3 本の MRI 測定画像から分かるように、コアごと巣穴の到達深度 (图中的黄色両矢印) が異なり、それに対応して塩化物イオンの低減された層の厚さも異なった。

### 【MRI の撮影条件】

装置は Agilent 社製、人体用 4.7T システムに頭部用 TEM コイルを用いた。霞ヶ浦で採取した底泥サンプルを用いて、グラジエントエコー (GE) 法とスピネコー (SE) 法でイメージング条件の検討を行い、両サンプルの 3 次元撮像をおこなった。撮像時間は約 15 時間 (オーバーナイト) で測定を行った。

## 3. 結果と考察

### 【霞ヶ浦湖心と琵琶湖南湖の SOD】

霞ヶ浦湖心におけるコア培養法 10 時間経過時の SOD は  $1.21 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$  ( $25^\circ\text{C}$ ) だった。一方、バイアル法では  $0.27 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$  だった。直上水を攪拌した場合、SOD は数倍大きくなることが指摘されている。また、霞ヶ浦の  $\phi 11\text{cm}$  コアには大型の底生生物が確認された。これらがバイアル法とコア培養法の SOD の差に寄与したと推察される。琵琶湖南湖でもバイアル法を用いて SOD を測定したところ、 $1.17 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$  ( $25^\circ\text{C}$ 、5 時間経過時) の値が得られた。両湖の水質を考慮すれば、有機物分解以外に底泥間隙水中から溶出した金属イオンが SOD に大きく寄与した可能性が示唆される。

### 【MRI による底泥の物理構造解析】

いくつかのコアで水泡構造と巣穴構造が重なり判別しにくくなってはいるが、巣穴構造に関して下記の興味深い特徴を明らかにすることができた (図 1)。

特徴 1) 巣穴には太くてものもあれば、比較的表層のみ分布する細いものもあった。

特徴 2) ユスリカの巣穴は複雑で、底泥中で幾度も曲がり、底泥内部に発達する場合もあった。

生物利用性の低い塩化物イオン濃度を元に底泥直上水と底泥間隙水との交換の程度を評価した。偶然ではあるが、幼虫を添加した 3 本の底泥コアごとに幼虫が底泥中に作り上げた巣穴構造の到達深度に大きな違いがあり、その深度まで底泥間隙水中の塩化物イオン濃度は低く維持されていた (図 1)。

## 4. 結論

バイアル法により、底泥表層の構造を乱すことなく化学的および微生物的な SOD を同時に評価できた。また、バイアル法の SOD は直上水の攪乱や大型の底生生物の影響を受けないため、一定条件下での底泥表面と直上水の直接の関係性を示したデータが得られる。これより、様々な湖沼の SOD が比較可能となり、環境基準としての役割を担うことが期待できる。さらに、世界に先駆けて MRI 測定により、底泥中の巣穴の 3 次元構造を非破壊で明らかにすることができた。その結果、巣穴の到達深度を明らかにすることができ、おおよそその巣穴分布深度まで塩化物イオンの勾配が見られなかったことから、オオユスリカの幼虫が作る巣穴を通して、底泥直上水が取り込まれ、底泥間隙水との交換が促進されていることが強く示唆された。

## 5. 今後の課題

バイアル法を用いて、様々な湖沼の SOD データを蓄積していくことで環境評価に大きな貢献が見込まれる。微生物呼吸と化学的酸化による酸素消費はバイアル法で評価し、空間的不均一性が高く間隙水の移流や酸化還元境界面の増大等を通して酸素消費に影響を及ぼす大型底生生物の巣穴構造は MRI 測定法で解析していく。今後は両手法を組み合わせることで、底層 DO の支配要因の一つである SOD の予測に結び付けたい。

## 参考文献

- 1) J. S. Elverfeldt, M. Schlüter, T. Feseker and M. Kölling: Rhizon sampling of porewaters near the sediment-water interface of aquatic systems. *Limnol. and Oceanogr.: Methods*, 3, 361 (2005).