

野尻湖の湖水中の有機物実態調査

山下晃子¹・館内知佳¹・川野政美²・寺澤潤一³
赤池史子⁴・小澤秀明¹

長野県北部に位置する野尻湖の湖心，弁天島西及び水穴の3地点について，2011年5月から2014年3月まで湖水中のTOC及びDOCの調査を実施した。またCOD及びD-CODも調査し，過去10年間の水質常時監視結果とあわせて有機物の実態について解析を行った。全体ではTOCとCOD及びDOCとD-CODには高い相関が認められ，CODとTOCの関係性が導かれた。

キーワード：TOC，DOC，COD，D-COD

1. はじめに

野尻湖では，1988年の夏にウログレナの異常増殖に伴う淡水赤潮が発生し¹⁾²⁾，1994年に湖沼水質保全特別措置法の指定を受けた。それ以降長野県では4期20年にわたり水質保全計画を策定し，浄化対策を講じてきた。その結果，富栄養化の要因となる窒素・りん濃度については徐々に低下し，当初みられた淡水赤潮の発生も見られなくなっている¹⁾²⁾。しかし化学的酸素要求量(COD)については環境基準(1.0mg/L以下)の達成には至っていない³⁾。

湖沼の有機汚濁物質の指標としては，CODが長年にわたり利用されている。CODは有機物を過マンガン酸カリウム(KMnO₄)により酸化する時に消費される酸素の量として表すが，KMnO₄の有機物に対する酸化率により値が変動することや測定値が酸化の温度や時間によりバラツキを生じるなど問題点も指摘されている^{4)~6)}。水道法では有機物の基準としてKMnO₄消費量から燃焼により有機物を酸化分解して全炭素量を直接求める全有機炭素量(TOC)に変更になった。また，全国的に湖沼のCODが減少しない要因のひとつと考えられている難分解性の溶存有機物(DOM)を溶存態有機炭素量(DOC)として評価する研究⁷⁾も進んでおり，水中の有機物を有機炭素として測定するTOC及びDOCは，定量的に評価する指標として有用と考えられる。

そこで2011年5月から2014年3月まで湖水中のTOC及びDOCの調査を実施し，またCOD及び溶存態COD(D-COD)も調査し，過去10年間(2004年4月から2014年3月)の公共用水域水質常時監視(以後，常時監視)結果⁸⁾とあわせて有機物の実態について解析した。さらにTOCとCODの関係性について検討したので報告する。

2. 方法

2.1 調査地点

野尻湖は長野県北部の標高654mに位置し，湖面積4.56km²，最大水深38.5m，貯水量95,676,000m³であり，複雑な地形の堰き止め湖である。野尻湖の流出河川は1河川で，流入河川は11河川あり揚水発電などのために人為的に導水されている。調査地点は，常時監視の測定地点である湖心，弁天島西及び水穴の3地点とした(付図1)。採水場所は表層とし，湖心及び弁天島西では下層も加えた。2012年4月から1年間の湖心の全水深の平均は33.3m(下層平均採取水深32.3m)，弁天島西の全水深の平均は5.3m(下層平均採取水深4.3m)，水穴の全水深の平均は33.3mであった。表層は直接採水し，下層の採水はバンドーン採水器を用いた。なお採水は長野保健福祉事務所に依頼した。

1 長野県環境保全研究所 水・土壌環境部 〒380-0944 長野市安茂里米村 1978

2 長野県立木曾病院 〒397-8555 木曾郡木曾町福島 6613-4

3 長野県環境保全研究所 食品・生活衛生部 〒380-0944 長野市安茂里米村 1978 (2015年3月退職)

4 長野県立須坂病院 〒382-0091 須坂市須坂 1332

2.2 測定時期及び測定項目

2012年4月から2014年3月まで毎月1回COD, D-COD, TOC及びDOCの測定を実施した。2011年5月から2012年3月の間は湖心及び弁天島西でTOC及びDOCの測定のみ実施した。

湖心の水温鉛直測定については、2013年7月、8月、10月及び2014年5月に各1回実施した。

2.3 測定方法

測定方法はJIS K0120に準拠し、D-COD及びDOCは450℃で2時間処理したガラス繊維ろ紙(Whatman社製GF/F)でろ過したろ液について分析した。TOC及びDOCは島津社製TOC-VCSH(NPOC法)を用い測定した。なお、懸濁態COD(P-COD)はCODとD-CODの差とし、懸濁態TOC(POC)はTOCとDOCの差として算出した。

湖心の水温の鉛直測定は、YSI社製650MDS多項目水質計を用いて、水深14mまでは1mごとにそれ以深は2mごとに実施した。

3. 結果及び考察

3.1 湖心のCOD及びTOCの季節変化

2012年4月から測定した2年間の湖心表層及び

下層におけるCOD, D-COD及びP-CODの月別濃度を図1に示す。湖心表層では、この間のCODの平均値は2.01mg/Lであり、夏から秋にかけて上昇し冬に下がる季節変化を示した。一方、湖心下層では、CODの平均値が1.79mg/Lで顕著な季節変化を示さなかった。2004年4月から2014年3月までの10年間(以後、過去10年間)の測定結果⁸⁾の平均値と比較すると、表層のCODは夏から秋(7-11月)にかけて平均値を超えることが多く、下層のCODは季節にかかわらず平均値を超える月があり、特に7-8月に大きく超える傾向がみられた。P-CODは表層では、2014年の2-3月に高いほかは、初夏に高くなる傾向がみられたが、下層では顕著な季節変化はみられなかった。

2011年5月から2014年3月(35ヶ月間)の湖心表層及び下層におけるTOC, DOC及びPOC濃度の月別変化を図2に示す。表層におけるこの間の平均値は、TOCで1.38mg/L, DOCで1.19mg/Lであった。この間のクロロフィル(Chl-a)濃度の平均値⁸⁾は2.56µg/L, 透明度の平均値⁸⁾は6.4mであった。このChl-a及び透明度の平均値からOECDの富栄養度の区分⁹⁾によって判定すると、野尻湖は貧栄養湖に分類される。またTOC及びDOCはCODと同様の季節変化がみられたが、夏期のTOCの上昇はわずかであった。

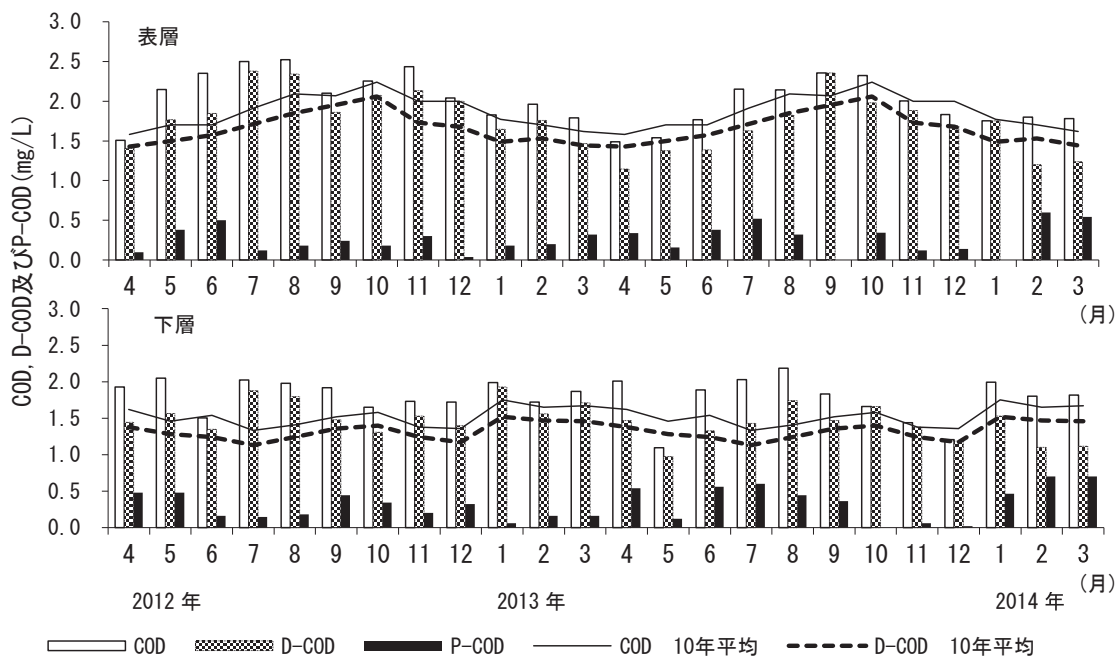


図1 湖心におけるCOD, D-COD及びP-CODの月別濃度(2012.4~2014.3)
10年平均は、常時監視結果の過去10年間(2004.4~2014.3)の月別平均濃度

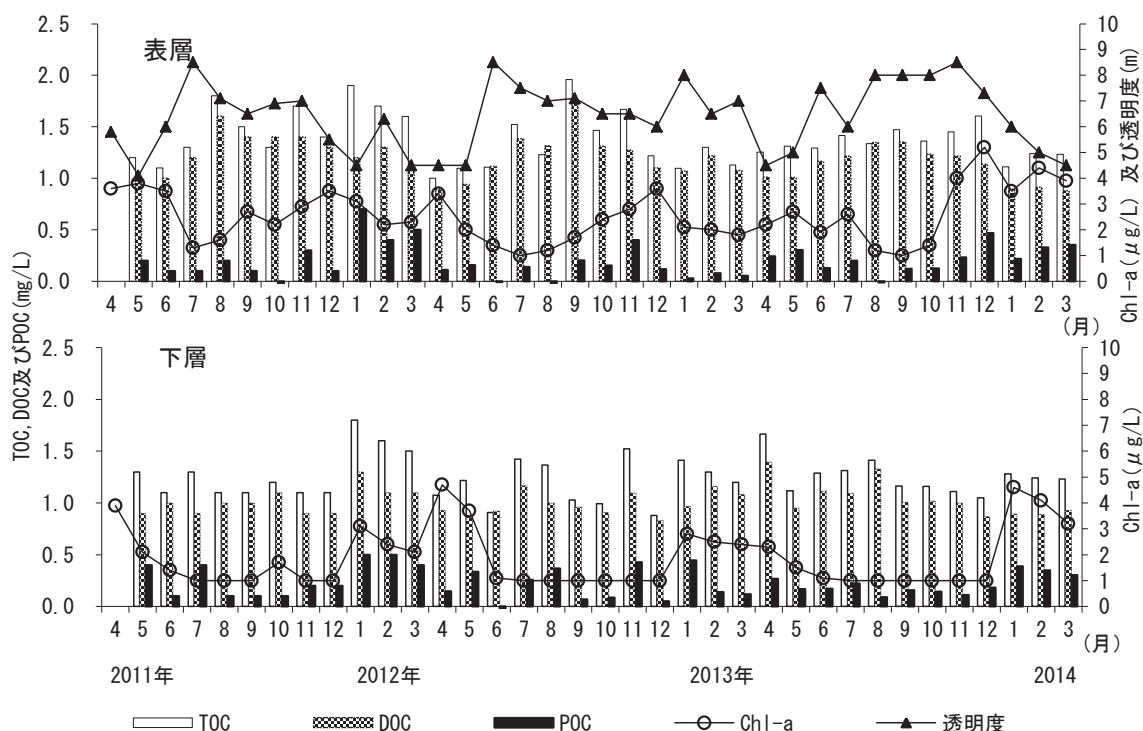


図2 湖心における TOC,DOC 及び POC の月別濃度 (2011.5 ~ 2014.3)
Chl-a 及び透明度は常時監視測定値 (2011.4 ~ 2014.3)

一方、下層のこの間の平均値は、TOC で 1.24mg/L、DOC で 1.02mg/L であり、冬から春にかけて TOC 及び DOC がやや上昇するが、年間を通してみると明瞭な季節変化は認められなかった。

表層の POC 及び Chl-a は、2012 年の初冬から春を除いて年間の中では、秋以降から春まで高い傾向がみられ、透明度は下がる傾向がみられた。野尻湖の植物プランクトンの優占種としては珪藻類が報告されており^{10,11)}、珪藻類は一般に水温の低い状態を好み湖水が循環している時期に増える傾向¹²⁾があることから、湖心では冬期を中心として時期に珪藻類などの植物プランクトンが増えることにより POC が高くなったと推察される。

3.2 湖心の水温及び溶存酸素量の季節変化

比較的深い湖沼では一般に夏季を中心に成層が観測される¹³⁾。過去 10 年間の湖心の水温⁸⁾及び溶存酸素量⁸⁾を月別に平均して図 3 に示す。湖心表層のこの間の年平均水温は 13.7℃で月別平均水温は 2.7℃~26.4℃までの大きな季節変化を示した。一方、水深 33m 付近の下層の年平均水温が 5.7℃で年間を通じてほぼ一定であった。溶存酸素量は 7 月から表層と下層に差がみられ、下層では 12 月に最低濃度となり、その後表層と下層の濃度が同じになった。

2013 年 7 月 ~ 2014 年 5 月に湖心で得られた水温の鉛直分布を図 4 に示す。今回測定した湖心において成層しているときの水温躍層 (変水層) は 8-16m であった。1986 年の調査では 8-15m であり¹⁴⁾同様の結果であった。

湖心では、春期以降の成層の進行とともに、下層より高くなった表層の有機物の濃度は、初冬の湖水循環期の鉛直混合により、表層、下層で一様になることが確認された。

3.3 弁天島西の COD 及び TOC の季節変化

2012 年 4 月から 2 年間の弁天島西地点における COD、D-COD 及び P-COD の月別濃度を図 5 に示す。この間の COD の平均値は表層で 2.04mg/L、下層で 2.13mg/L であり、表層より下層の濃度がやや高かったが大きな差はなかった。表層、下層ともに夏から秋にかけて上昇し、冬に下がる季節変化を示した。過去 10 年間の COD の平均に比べると表層下層ともに 7-9 月と初冬に高くなる傾向がみられた。

2011 年 5 月から 2014 年 3 月までの弁天島西地点における TOC、DOC 及び POC の月別濃度を図 6 に示す。この間の TOC の平均値は、表層で 1.33mg/L、下層で 1.46mg/L であった。DOC のこの間の平均値は表層で 1.14mg/L、下層で 1.20mg/L であった。TOC

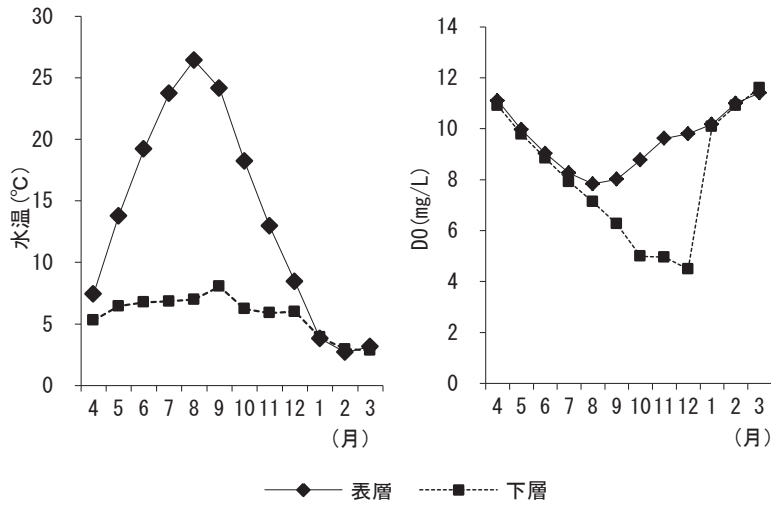


図3 過去10年(2004.4~2014.3)の常時監視結果の湖心における月別平均水温及び溶存酸素量

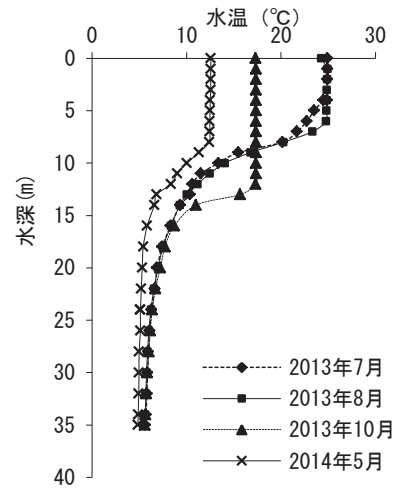


図4 湖心の水温鉛直分布

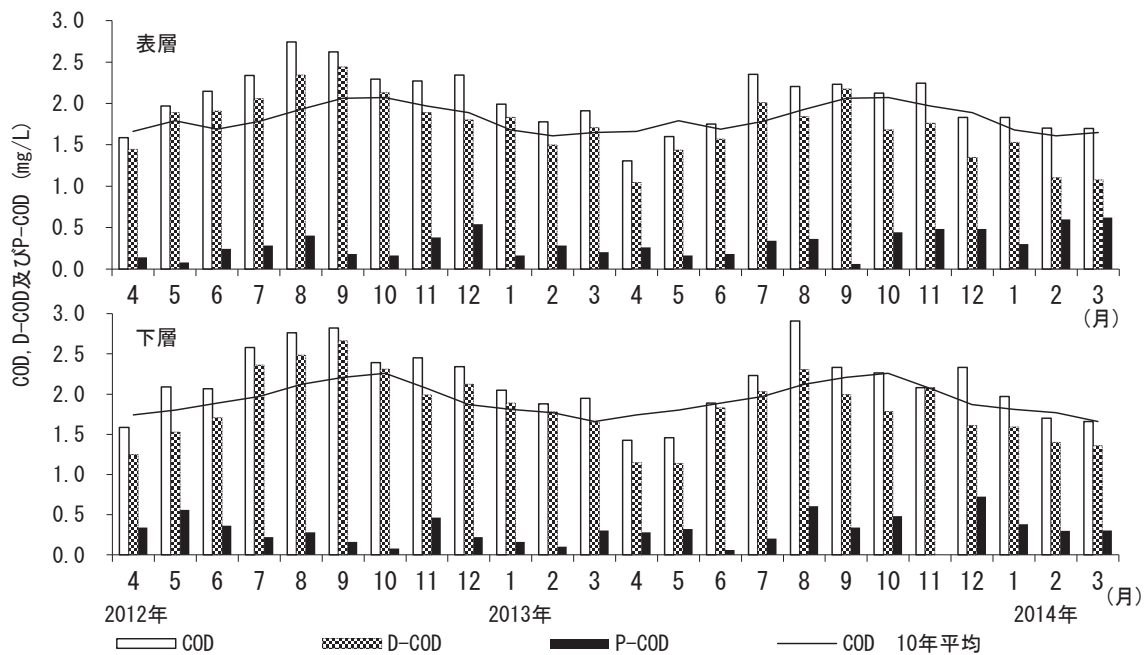


図5 弁天島西におけるCOD,D-COD及びP-CODの月別濃度(2012.4~2014.3)
10年平均は、常時監視結果の過去10年間(2004.4~2014.3)の月別平均濃度

及びDOCともに表層より下層でやや高く、表層、下層ともに夏から秋にかけて上昇し冬に下がる季節変化を示した。POCは初夏と11-12月に高くなる傾向がみられ、特に下層で顕著であった。

過去10年間の弁天島西地点における水温⁸⁾及び溶存酸素量⁸⁾を月別に平均して図7に示す。弁天島西地点のこの間の全平均水温は、表層で13.6℃、下層で13.5℃であり温度差は認められなかった。また月別の平均水温及び平均溶存酸素量は表層と下層が同様に変化していた。

弁天島西の有機物の濃度が表層、下層ともに同様な季節変化を示したのは、水深(平均水深5.3m)が浅いため成層せずに全層が一様であるためと考えられるが、下層の有機物の濃度は表層よりもやや高い傾向がみられた。

3.5 溶存態有機物の地点別比較

2012年4月から2年間の湖心表層、弁天島西表層及び水穴表層におけるDOCの月別濃度を図8に示す。この間のDOCの平均値は湖心表層で1.16mg/L、

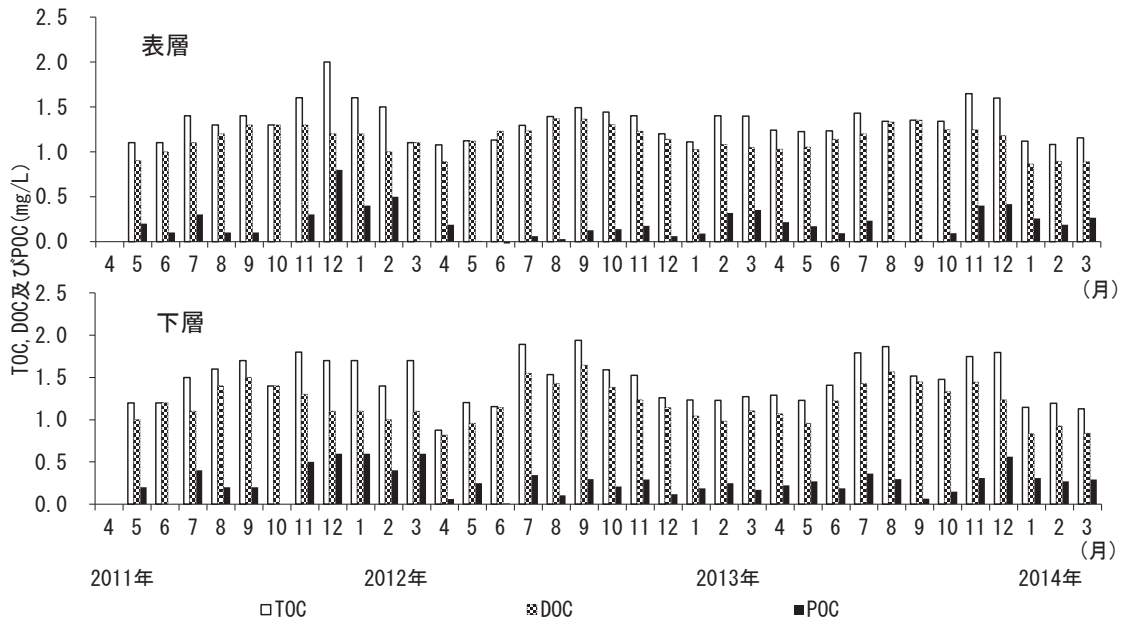


図6 弁天島西における TOC,DOC 及び POC の月別濃度 (2011.5 ~ 2014.3)

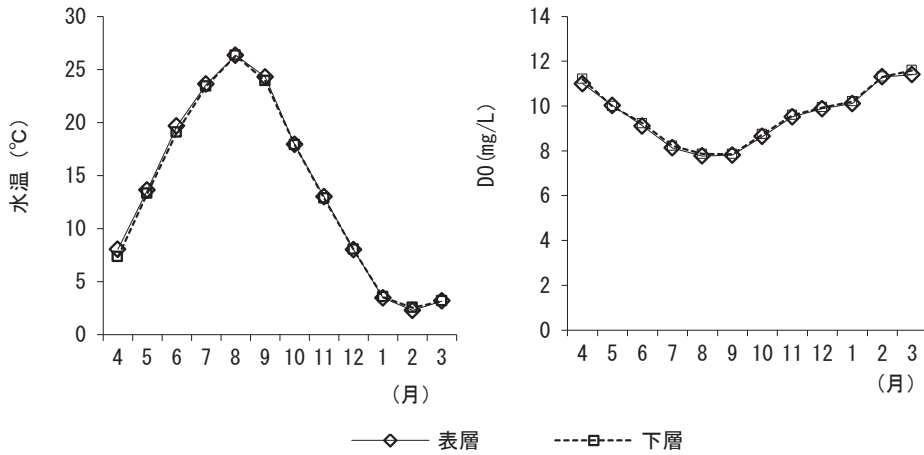


図7 過去10年(2004.4 ~ 2014.3)の常時監視結果の弁天島西における月別平均水温及び溶存酸素量

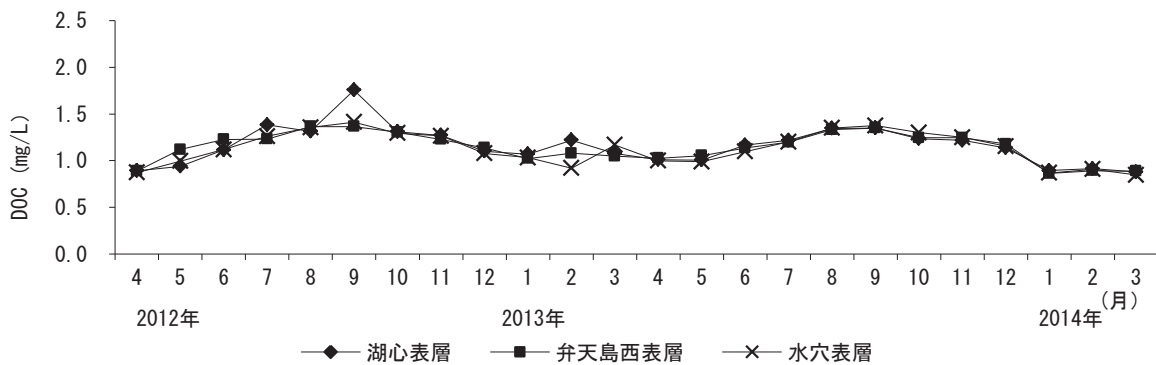


図8 湖心・弁天島西・水穴の表層における DOC の月別濃度 (2012.4 ~ 2014.3)

弁天島西表層で 1.14mg/L, 水穴表層で 1.13mg/L であった。測定した 3 地点では、概ね同様な季節変化をしており、溶存態有機物濃度には地点間で差はみられなかった。

3.6 TOC と COD の関係

2012 年 4 月から 2 年間に測定した 3 地点の TOC と DOC 及び DOC と D-COD の関係を図 9 に示す。TOC と COD は相関係数 0.61 (n=120 p<0.001), DOC と D-COD は 0.76 (n=120 p<0.001) であり高い相関を示した。同一の水域では、有機物の構成が似ているため溶存態、懸濁態ともに高い相関関係があるといわれており⁴⁾ 同様な結果が得られた。これにより過去の TOC の推測が可能となった。しかし季節ごとに相関係数を比較してみると、春期(4-6 月)の相関係数が低く、その時期のデータを除くと、DOC と D-COD は相関係数 0.79 (n=90 p<0.001) となりさらに高い相関を示した。この時期の湖水は他の時期と異なることが考えられるが詳細は不明である。さらにデータを蓄積して関係性を調べていく必要がある。

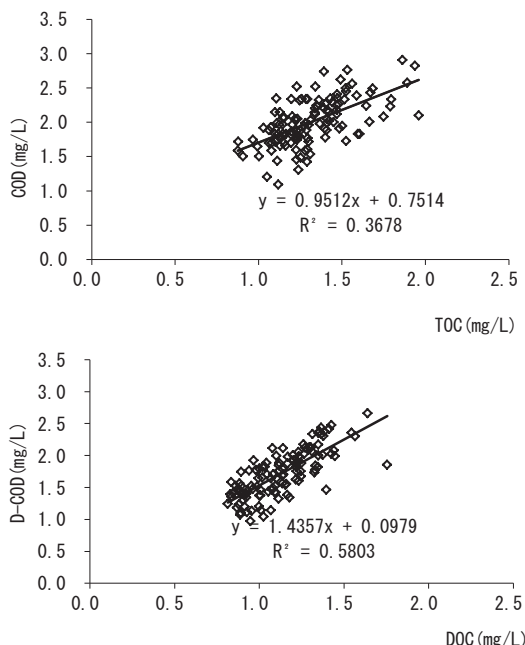


図 9 野尻湖 3 地点における TOC と COD 及び DOC と D-COD の相関

4. まとめ

野尻湖における湖水中の有機物の実態調査を行い

以下の結果を得た。

- (1) 湖心では夏に成層し、有機物は表層では夏に上昇する季節変化を示し、下層では明瞭な季節変化が認められなかった。
- (2) 弁天島西では、有機物は表層、下層ともに夏に上昇する季節変化を示したが、表層に比べて下層で濃度がやや高い傾向がみられた。
- (3) 表層の溶存態有機物は、湖心、弁天島西及び水穴では明らかな濃度差がみられなかった。
- (4) TOC と COD, 及び DOC と D-COD には、季節によって差はあるが全体的には高い相関が認められた。

謝 辞

本調査にあたり、試料採取及び水温鉛直測定にご協力いただきました長野保健福祉事務所検査課の皆様、また野尻湖水草復元研究会の皆様にご感謝いたします。

文 献

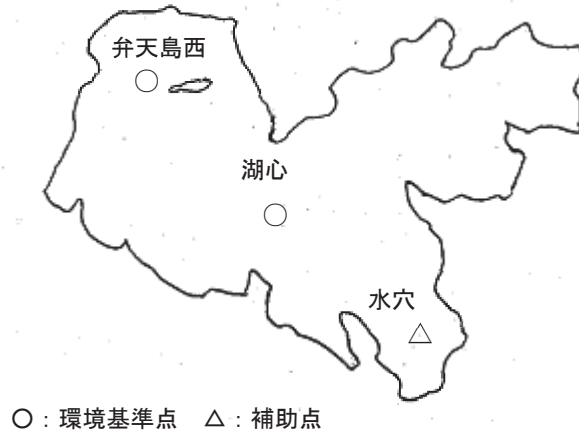
- 1) 落合照雄 (1992) 野尻湖のプランクトン, 日本水処理生物学会誌, 28(2):147-151.
- 2) 落合照雄 (1998) 野尻湖にみられる数種のプランクトンについて, 清泉女学院短期大学研究紀要, 17:101-114.
- 3) 長野県, 野尻湖に係る湖沼水質保全計画 (第 4 期): <http://www.pref.nagano.lg.jp/mizutaiki/kurashi/shizen/suishitsu/4ki/documents/nojiri-4th.pdf> (2015 年 1 月確認)
- 4) 国立環境研究所 (1998) 湖沼環境指標の開発と新たな湖沼環境問題の解明に関する研究, 国立環境研究所特別研究報告 SR-24-'98:8-26.
- 5) 安藤正典 (2006) 水道水質における有機物指標 (上), 資源環境対策, 42(15):105-108
- 6) 安藤正典 (2006) 水道水質における有機物指標 (下), 資源環境対策, 42(17):103-108
- 7) 国立環境研究所 (1998) 湖沼における有機物の循環と微生物生態系との相互作用に関する研究, 国立環境研究所研究プロジェクト報告 SR-103-2012:19-27.
- 8) 長野県, 水質測定結果 2004 年版 -2013 年版 (長野県環境部水大気環境課)
- 9) OECD(1982), Eutrophication of Waters.

- Monitoring, Assessment and Control
- 10) 酒井倫子・赤尾秀雄 (1980) 野尻湖の植物プランクトン, 日本水処理生物学誌, 15(2):33-37.
- 11) 長野市, 水質年報 平成 13-16 年版 (長野市上下水道局浄水課)
- 12) 沖野外輝雄 (1997), 特集諏訪湖生物相の変遷, アーバンクボタ, 36:20-41.
- 13) 西条八束・三田村緒佐武, 新編湖沼調査法 (講談社):53-60.
- 14) 川村 實・樋口澄男・丸山正人・中沢雄平 (1986) 野尻湖の水質について, 長野県衛生公害研究所報, 9:18-24.

Survey of organic matter concentration in Water of Lake NOJIRI

Akiko YAMASHITA¹, Chika TACHIUCHI¹, Masami KAWANO², Junichi TERASAWA³,
Fumiko AKAIKE⁴ and Hideaki OZAWA¹

- 1 Water and Soil Environment Division, Nagano Environmental Conservation Research Institute, 1978 Komemura, Amori, Nagano 380-0944, Japan
- 2 Nagano Prefectural Kiso Hospital, 6613-4 Fukushima, Kiso 397-8555, Japan
- 3 Food and Pharmaceutical Sciences Division Nagano Environmental Conservation Research Institute, 1978 Komemura, Amori, Nagano 380-0944, Japan (Retired March 31, 2015)
- 4 Nagano Prefectural Suzaka Hospital, 1332 Suzaka, Suzaka 382-0091, Japan



付図1 野尻湖採水地点図