

報 文

新潟県内の主要な湖沼・河川水の水質及び
同位体的・化学的特徴田澤 勝¹, 狩野 直樹^{®2}, 今泉 洋²Isotopic, Chemical Characteristics and Water Quality of Lagoon and
River-Water Samples in Niigata Prefecture, JapanMasaru TAZAWA¹, Naoki KANO² and Hiroshi IMAIZUMI²¹ Graduate School of Science and Technology, Niigata University, 8050, Igarashininomachi, Niigata-shi, Niigata 950-2181² Faculty of Engineering, Niigata University, 8050, Igarashininomachi, Niigata-shi, Niigata 950-2181

(Received 15 April 2005, Accepted 30 June 2005)

The monitoring and determination of pollutants in environmental water is very significant from the viewpoint of environmental protection. In this study, the objective was to reveal the quality and characteristics of environmental water samples from Niigata Prefecture in recent years, and to establish a new evaluation method for the behavior of environmental water. For the above-mentioned purpose, the total organic carbon (TOC), chemical oxygen demand (COD), the concentration of major ions and oxygen stable isotopic ratios (*i.e.*, $\delta^{18}\text{O}$) in some river water, lagoon water and groundwater samples in Niigata Prefecture were measured. Moreover, the water temperature, pH, electric conductivity (EC) and dissolved oxygen (DO) were measured in the field. River water, circumjacent groundwater (located near the river), and lagoon water samples were taken monthly at fixed sampling points from 4 rivers (*i.e.* Shinano River and its two branch streams, Agano River) and 2 lagoons (*i.e.* Sakata and Toyonogata) in Niigata Prefecture. Consequently, the following matters have been mainly clarified: (1) The relationship between TOC and COD serve as a useful tool for estimating the effect of mixing from other kinds of river-water systems. (2) The concentration of NO_3^- in water samples from Sakata was larger than those in other environmental water samples. Particularly, those of spring water in Sakata were 30 to 60 ppm throughout the year. (3) The relationship between the $\delta^{18}\text{O}$ values and the TOC was relatively good in the water samples from Sakata. In a lagoon, such as Sakata (not suffering from the inflow of river waters), investigating $\delta^{18}\text{O}$ values are of interest as one of the indices of organic pollutants (originated from plankton), as well as for characterizing the origin of local water. (4) The pH values of lagoon water samples were 8 to 9, and those of groundwater samples were 5 to 6. It is considered that lagoon water is super-saturated with oxygen, and groundwater is unsaturated.

Keywords : river water; lagoon water; total organic carbon (TOC); chemical oxygen demand (COD); oxygen stable isotopic ratio ($\delta^{18}\text{O}$).

1 緒 言

近年、大気汚染や水質汚染などの環境問題が多く取り上げられ、水資源の利用やその保全の政策を進めるにあたって、環境水の動態を把握し、その中の溶存汚染物質の起源、

¹ 新潟大学大学院自然科学研究科材料生産システム専攻: 950-2181 新潟県新潟市五十嵐二の町 8050

² 新潟大学工学部化学システム工学科: 950-2181 新潟県新潟市五十嵐二の町 8050

又は循環経路を追及することは意義深いことである。

河川は大気-陸域-海洋を結んでおり、一連の循環の中で、水は蒸発や凝縮、混合などを繰り返す。このような環境水の循環を評価する手法として、酸素・水素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$, δD) を利用した研究¹⁾²⁾が注目されている。水分子における D 及び ^{18}O の存在比の変動を追跡することは、地域環境水の起源や循環経路の解明に有用である³⁾ため、汚染発生時には、その起源や汚染経路を推測する一つの手掛かりとなることが期待される。ところが本県内において、酸素・水素安定同位体比をトレーサーとした系統的な水文学的研究は十分に行われていないのが現状である。

一方、pH、電気伝導度 (EC)、溶存酸素 (DO) や Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- 等の主要イオン濃度は、水質解析における基礎的で重要な測定項目であり、河川水や地下水及び湖沼水を取り巻く水環境の評価にとって不可欠である。

これらの観点から、本研究室ではこれまでに新潟県内の環境水 (河川水、地下水、降水) を採取し、酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) や主要イオン濃度の測定を行ってきた⁴⁾⁵⁾。

一方、湖沼においてもアオコや赤潮などのプランクトン起源の有機物汚染が懸念され⁶⁾⁷⁾、更なる動態評価が必要となっている。新潟県の代表的な湖沼である佐潟は、砂丘列間の低地に形成された砂丘湖で、流入する河川がなく、降水や地下水からの湧き水によって涵養されているという特徴を持った全国的にも珍しい湖沼⁸⁾であるため、その水文学的特徴を明らかにすることは興味深い研究対象である。

また、陸水の水質の詳細な評価には、前述した主要イオン濃度などのほかに、有機物の量やその役割の把握が重要な意味を持つ。例えば、水中の有機炭素濃度の 50~60% を占めると言われている腐植物質 (フミン物質)⁹⁾ は、有害化学物質の挙動性を支配するのに重要な役割を担っていると考えられており¹⁰⁾¹¹⁾、有毒な Cr(VI) の Cr(III) への還元¹²⁾の働きなども知られている。こうした水中の有機物を評価する代表的な水質指標¹³⁾として、全有機炭素 (TOC) や化学的酸素要求量 (COD) などがある。

以上のような背景に基づき、本研究では湖沼を中心に新潟県内の陸水を研究対象として、pH、EC、DO、主要イオン濃度、 $\delta^{18}\text{O}$ に加え、TOC、COD を測定し、これらの季節変動や地域の変動について検討した。これらの測定結果を詳細に解析することによって、新潟県における近年の環境水の水質及び同位体的・化学的特徴についての知見を得ること、更には新たな環境水動態評価法を確立することを目的とした。

2 実 験

2.1 試 料

本研究で研究対象とした湖沼は、佐潟及び鳥屋野潟、また、河川水は、信濃川、中ノ口川、西川、五十嵐川 (以上、信濃川水系) 及び阿賀野川である。採水地点は、Fig. 1 の黒丸 (●) で示すように、佐潟 2 地点、鳥屋野潟 2 地点並びに、信濃川水系 4 河川 12 地点と阿賀野川 5 地点である。更に阿賀野川の周辺地下水 2 箇所及び佐潟 (本潟南側岸辺) の湧き水 [Fig. 1 の白丸 (○)] である。

各湖沼・河川において、2004 年 4 月から毎月 1 回 (原則として、毎月最終週) 行った。採水は、降水の影響を極力少なくするために、晴れた日を中心に平水時 (可能な限り晴天が 3 日以上続いた翌日) に行った。試料水は、橋の中央部から、塩化ビニル製バケツを使って、流心部付近の表面水を採取し、直ちに水温、pH、EC 及び DO を測定後、あらかじめ酸洗浄を行い試料水で共液洗浄したポリプロピレン製の容器に移し、研究室に持ち帰った。なお、水温、pH、EC 及び DO の測定には携帯型 pH メーター (HORIBA 製、D-24 及び D-25) を用いた。

2.2 測定方法

TOC の測定は、TOC 計 (SHIMADZU 製、TOC5050A) により、COD の測定は、JIS¹⁴⁾ に準拠して、100℃ における強酸性の過マンガン酸カリウム法 (COD_{Mn}) で行われた。陽イオン (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) は、原子吸光装置 (HITACHI 製、Z-5000) により、陰イオン (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) は、イオンクロマトグラフィー (ION ANALYZER 東亜 DDK, IA100) により定量された。また、 HCO_3^- については、塩酸との中和滴定によるアルカリ度¹⁵⁾から換算することにより定量した。 $\delta^{18}\text{O}$ の測定は、安定同位体比測定用質量分析装置 (英国 Micromass 製、PRISM) を用いて行い、前処理の概略は、渡部らの方法¹⁶⁾に基づいて行われた。TOC、 $\delta^{18}\text{O}$ 、主要イオン濃度測定用試料水は、孔径 0.45 μm のメンブランフィルターで濾過したものを本研究に供した。

3 結果と考察

3.1 有機物による汚染の指標 (TOC と COD との相関)

佐潟及び鳥屋野潟における年間にわたる TOC vs. COD の測定値の相関図を Fig. 2a 及び 2b に、西川及び信濃川における TOC vs. COD の相関図を Fig. 2c 及び 2d に示す。一方、本研究におけるすべての環境水についての TOC vs. COD の相関図を Fig. 3 に示す。

これらの図より、全体的には、TOC vs. COD は高い相関を示すものの、個別の湖沼・河川水について詳細に検討

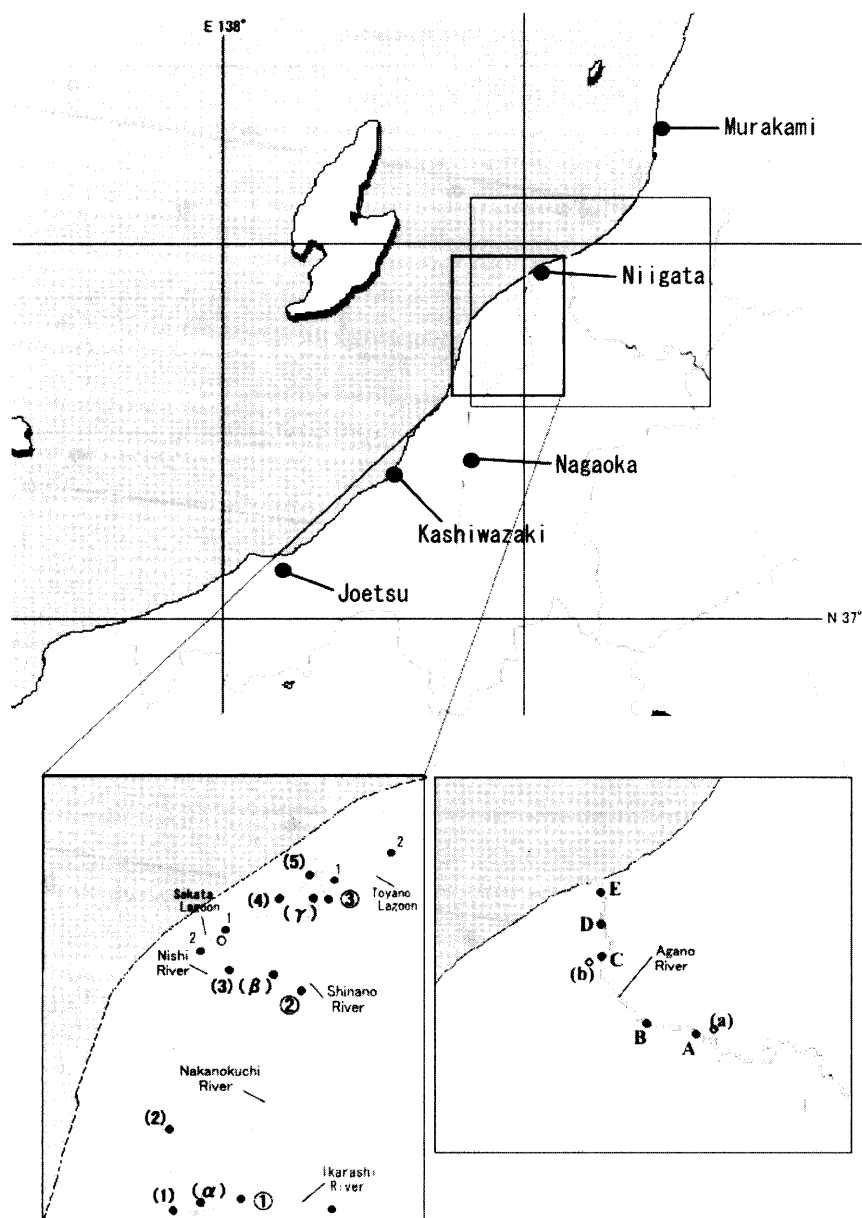


Fig. 1 Sampling points for environmental waters

●: River waters (17 spots), Lagoon waters (4 spots); ○: groundwaters (2 spots), spring water (1 spot)

すると、佐潟、鳥屋野潟及び西川については、それぞれ $R^2 = 0.728$, 0.620 , 0.619 と高い相関関係が得られたのに対して、信濃川においては $R^2 = 0.258$ と低い相関となった点が注目される。信濃川では、今回の調査地域内においても、五十嵐川、加茂川、小阿賀野川など、比較的大きな河川の混入が多数あるため、様々な形態の有機物質が存在していると考えられる。このことが、TOC *vs.* COD の相関関係が低くなった一因と推察される。河川水よりも湖沼水、特に流入河川のない佐潟において高い相関関係が得られたことから、他からの影響を受けにくい同一水系内では両者間で高い相関関係を示すことが裏付けられる。

このように、環境水中において、TOC *vs.* COD の相関

係数を比較・検討することは、他の河川水との（もしくはそれ以外の環境水との）混合割合の度合いを推測する手掛かりになりうると考えられる。

3・2 主要イオン濃度

佐潟及び鳥屋野潟の主要イオン濃度の月変動を Fig. 4 及び Fig. 5 に示す（なお、Fig. 5 において、月変動を明瞭に把握するため、縦軸の濃度の最大値を 8.0 mmol dm^{-3} に設定した。9月の試料は海水に起因すると思われる異常に高い Na^+ , Cl^- 濃度を示した）。また、水質の特徴を大局的に把握するため、佐潟及び鳥屋野潟の各1箇所について、主要イオン8成分（ Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- ,

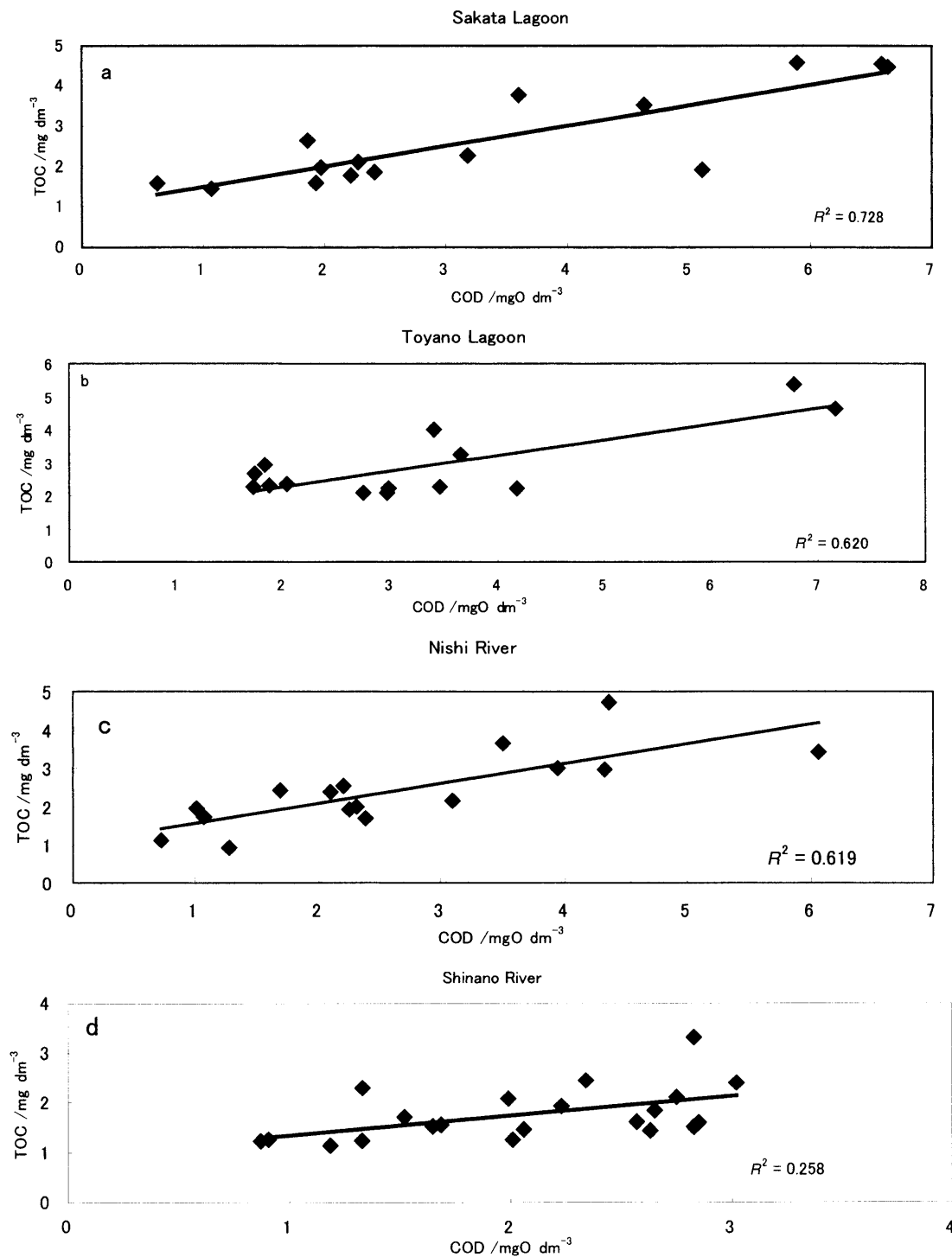


Fig. 2 The relationship between TOC and COD in environmental waters
a: Sakata Lagoon, b: Toyano Lagoon, c: Nishi River d: Shinano River

NO₃⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻) の濃度をもとに、代表的な河川水 [Fig. 1 の (A)] と比較する形でヘキサダイアグラム¹⁷⁾を作成した結果を Fig. 6 に示す。これは、グラフの右側に各陽イオン、左側に各陰イオンの当量濃度をプロットして各点を線で結んだものであり、中央からの距離が各成分の当量濃度の大きさを表している。この図を見ると、湖沼

水の主要イオン濃度は河川水に比べ高い値を示すことが分かる。佐潟は、流入河川がないために、その主な涵養源は高いイオン濃度を有した地下水であることが予想される。一方、鳥屋野潟は信濃川から流入するが、潟の入口付近 [Fig. 1 の (1)] で既にイオン濃度が大きく上昇することから、これも周辺地下水による寄与が大きいと考えられ、

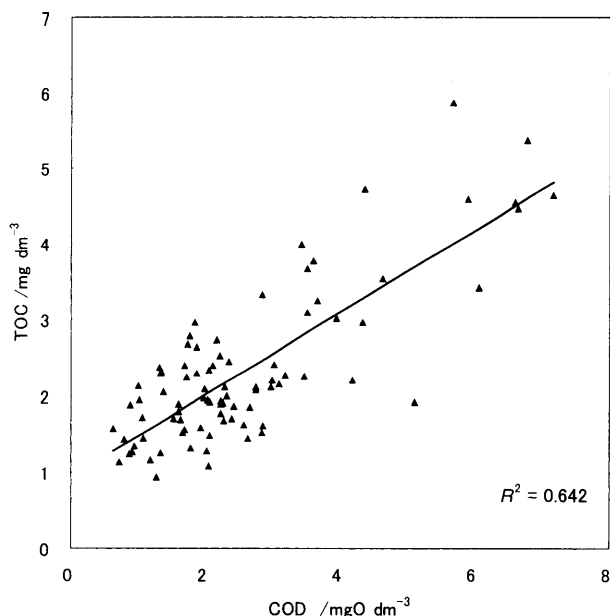
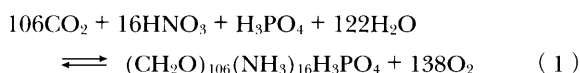


Fig. 3 The relationship between TOC and COD in all sampling points

周辺地下水を調査対象に加え検討する必要がある。

次に Fig. 4 において, 佐潟の湧き水が, 30~60 ppm ($0.50 \sim 1.0 \text{ mmol dm}^{-3}$) と総じて高い硝酸イオン (NO_3^-) 濃度を示したのが特徴的である。佐潟の湖沼水においても, 湧き水の場合ほど高濃度を示さなかったものの, 鳥屋野潟 (Fig. 5 参照) に比べると顕著に高濃度を示した。佐潟は周辺一帯を畑に囲まれているため, 畑で用いられる農業に含まれる有機体窒素が, 土壤中で微生物等の作用により NO_3^- となり, 土壤から地下水へと溶出したと考えられる。また, 佐潟の湖沼水 (佐潟 1, 2 のいずれも) では, 夏期は低濃度であるのに対し, 冬期になると高濃度を示すなど, 明確な季節変動が見られた。この現象は, 下の式 (1) における Redfield らによるプランクトンの生成式¹⁸⁾ から推測すると, 植物プランクトンや水生植物が, 光合成の際に NO_3^- を養分として吸収したことによると考えられる。



ここで, $(\text{CH}_2\text{O})_{106}(\text{NH}_3)_{16}\text{H}_3\text{PO}_4$ はプランクトンの一般の平均組成を表す。また, 右向きの矢印は光合成を, 左向きの矢印は呼吸, 分解を示す。

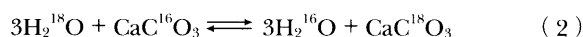
すなわち, 冬期に高い NO_3^- 濃度を示したのは, 「水温が下がり日光も当たらなくなり, 光合成が活発に行われなかった」ことによると考えられる。一方, 夏期における佐潟は, プランクトンの生長・増殖に適した環境にあると考

えるのが自然である。

3.3 酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$)

湖沼水における $\delta^{18}\text{O}$ の月変動を Fig. 7 に示す。鳥屋野潟及び佐潟における $\delta^{18}\text{O}$ の季節変動は, 河川水における季節変動⁵⁾と同様の傾向を示したが, 佐潟においては年間を通して $\delta^{18}\text{O} = -8 \sim -6\text{‰}$ 前後と全体的に ^{18}O が濃縮されているのが特徴的である。特に, 夏期における佐潟 1 (本潟から水が流出する地点) では, 湧き水や佐潟 2 (二つの潟を結び本潟に流入する地点) の $\delta^{18}\text{O}$ よりも顕著に高い値を示した (冬期では, これらの間に夏期ほどの顕著な差は見られなかった)。一方, 鳥屋野潟においては, 9 月に高い $\delta^{18}\text{O}$ を示しているものの, 佐潟で見られたような明瞭な季節変動は見られなかった。

上記の一因としてプランクトンの活動による影響が考えられる。甲殻類に分類されるプランクトンは, 炭酸カルシウム (CaCO_3) を殻に持つと考えられており, 周囲の環境水と式 (2) で示す同位体交換平衡反応を起こすと推測される。



これらの殻の $\delta^{18}\text{O}$ 値は, $-4 \sim 0\text{‰}$ ¹⁹⁾と陸水に比べてかなり高いため, 交換反応の結果, 水中に ^{18}O が濃縮される。

実際, 佐潟では, 夏期には甲殻類のプランクトンが多量に存在するが, 冬期になると, 水温の低下に伴ってプランクトンが生息できなくなり, 個体数は大幅に減少することが確認されている。一方, 鳥屋野潟においては, プランクトンは多く存在しているものの, 甲殻類のプランクトンはほとんど存在しないことが確認されている。これらのことから, 湖沼水における $\delta^{18}\text{O}$ の季節変動は, 甲殻類のプランクトンの活動と密接に関連すると推測される。

以上より, $\delta^{18}\text{O}$ をトレーサーとして環境水の循環を評価する際, 佐潟のような湖沼では, 蒸発・濃縮過程や岩石との接触による同位体分別のみで説明がつかない事象があり, 生物学的なアプローチも不可欠と考えられる。

3.4 $\delta^{18}\text{O}$ と TOC との相関

佐潟における $\delta^{18}\text{O}$ と TOC との関係を Fig. 8 に示す。この図より, 佐潟においては, $\delta^{18}\text{O}$ と TOC との間に強い相関関係があることを示唆している。ただし, このような高い相関係数は佐潟の試料水のみについて得られた。この原因については, 更なる検討の余地があるものの, 佐潟特有の現象と考えられ, 前述した甲殻類のプランクトンの作用が関連していると考えられる。

今回, 佐潟において見られた「 $\delta^{18}\text{O}$ と TOC との正の相

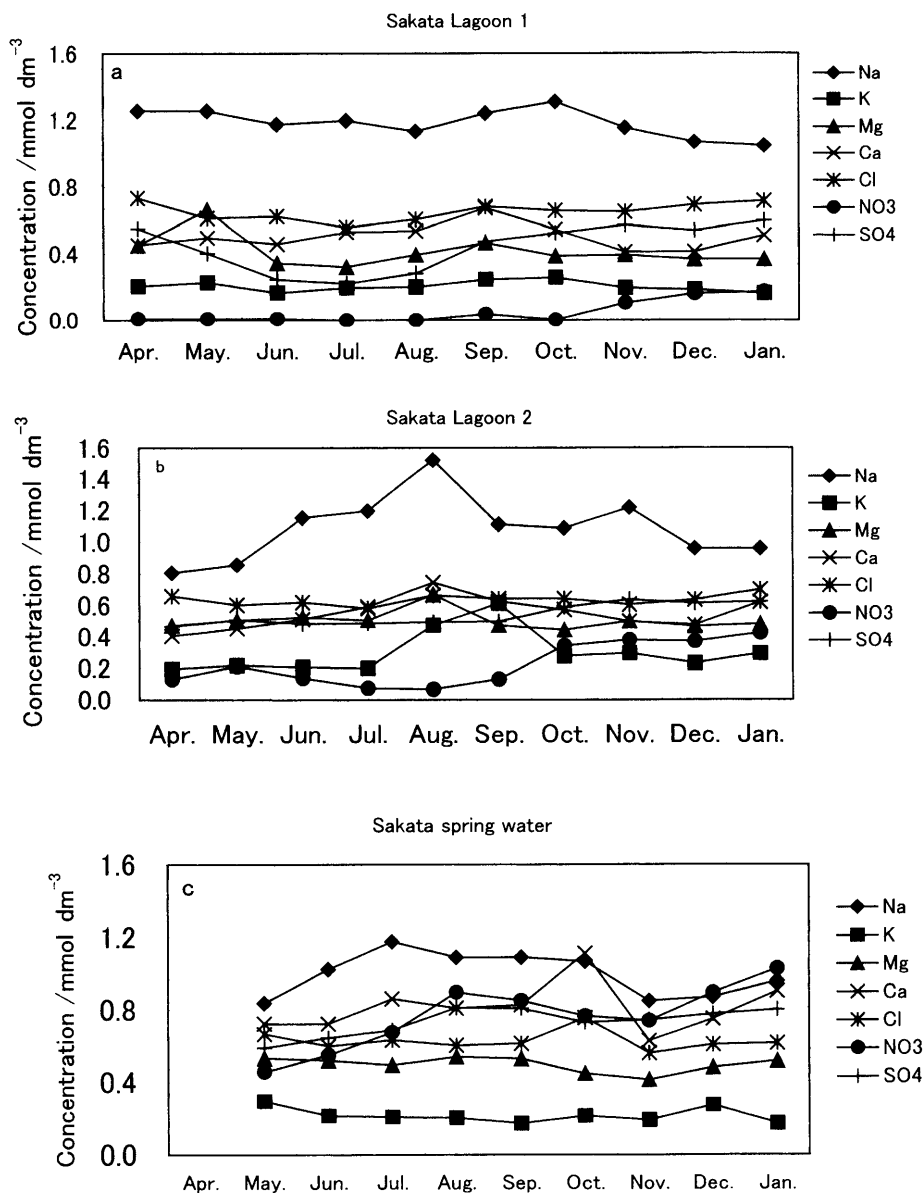


Fig. 4 Monthly variation of major ion concentrations in Sakata
a: Sakata Lagoon 1, b: Sakata Lagoon 2, c: Sakata spring water

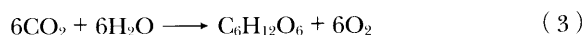
関関係」は、 $\delta^{18}\text{O}$ が有機物汚染に関する指標になりうる可能性を示唆しており、今後の環境水の動態評価において新たな手法の一つになる可能性がある。

3.5 pH 及び DO

環境水中における pH の月変動を、(a) 阿賀野川及びその周辺地下水、並びに (b) 湖沼水について Fig. 9 に示す。他の河川及び地下水についても、おおむね Fig. 9a と同様の傾向が見られた。河川水の pH は年間を通して 6~8 の間で変動したが、地下水はこれより若干低い値を示した。これは、降水が一般に酸性であることが主要因として挙げられるが、地下水では、岩石からのアルカリ塩の溶出などもあるため、降水と比較すると相対的に pH の低下は抑

えられていると考えられる。

湖沼の pH は、概して 6.5~8.5 と河川水よりも若干高く、佐潟 1 では 9~9.5 と高い値を示した。これについては、3.2 でも述べたように、水生植物や植物プランクトンの光合成によるものと考えられる。これらの植物が光合成を行う時、式(3)によって水中の二酸化炭素 (CO_2) が消費される。



消費された CO_2 は、式(4)に示すように、炭素水素イオン (HCO_3^-) によって供給される²⁰⁾と考えられるため、

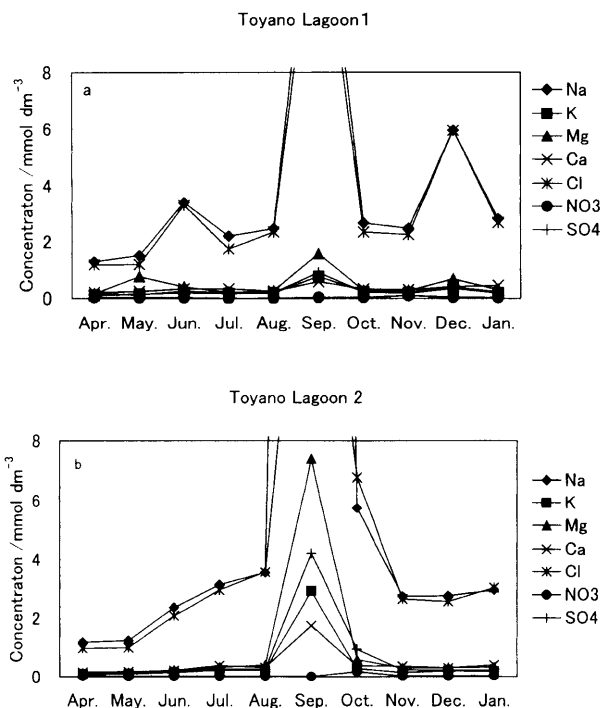


Fig. 5 Monthly variation of major ion concentrations in Toyano Lagoon

a: Toyano Lagoon 1, b: Toyano Lagoon 2

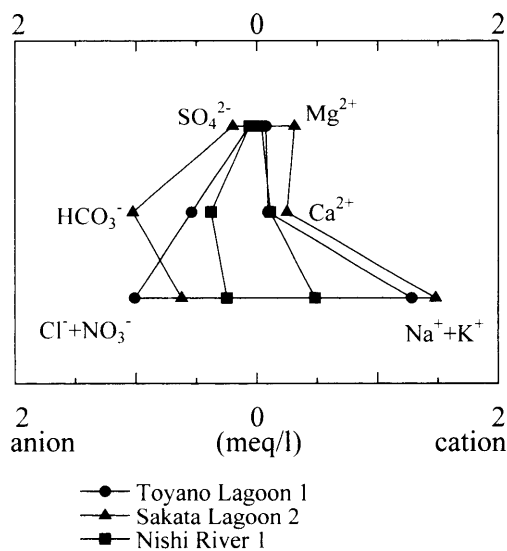


Fig. 6 Hexadiagram of major ions in Toyano Lagoon 2, Sakata Lagoon 1 and Nishi river 1 (May, 2005)



の反応が起こる. すなわち, OH^- の放出に伴い, 結果的に pH が上昇すると考えられる.

次に, 環境水中における DO 値について, 水温との相関から, 指標としての有用性を考察する. DO は, 水中の

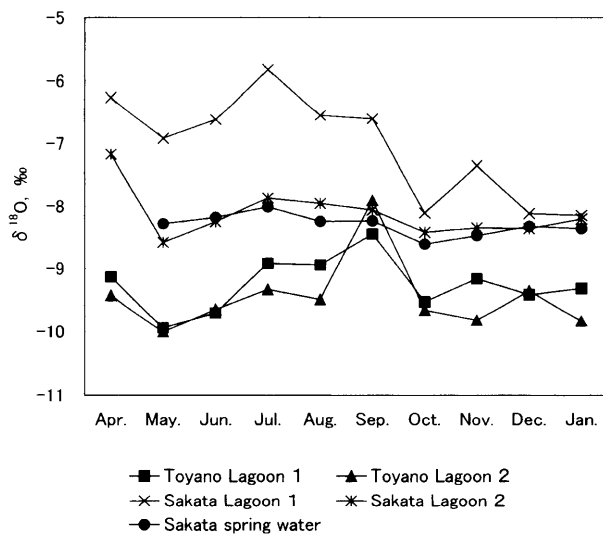


Fig. 7 Monthly variation of $\delta^{18}\text{O}$ in Sakata Lagoon and Toyano Lagoon

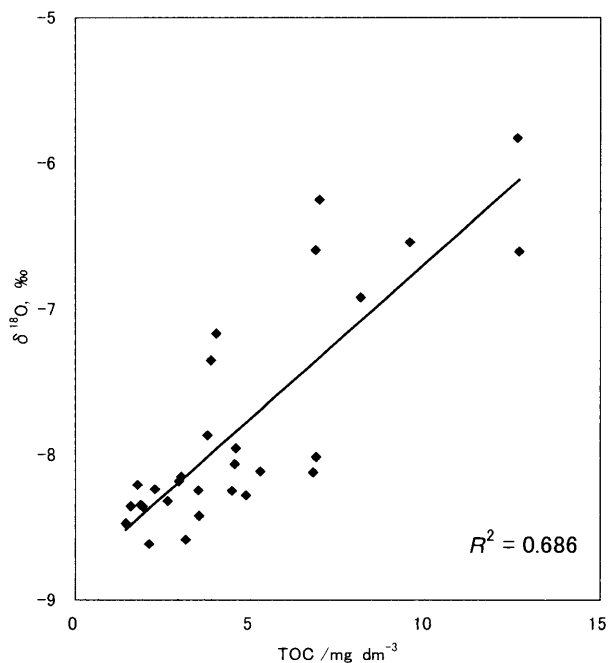


Fig. 8 The relationship between $\delta^{18}\text{O}$ and TOC at Sakata Lagoon

溶解した酸素量を表すもので, 有機物による汚染の指標項目¹³⁾の一つである. これは, 微生物が有機物分解などの活動をする際, 水中の酸素を取り入れることによる. 一般に, 気体の溶解度は水温に反比例すると考えられているが, 本研究における環境水のデータにおいても, 概してその傾向が見られた (Fig. 10a) (ただし, この図では, 両者の反比例の関係を明瞭に確認するため, 便宜上 DO が顕著に大きいものと小さいものは除いてある). 水温の低

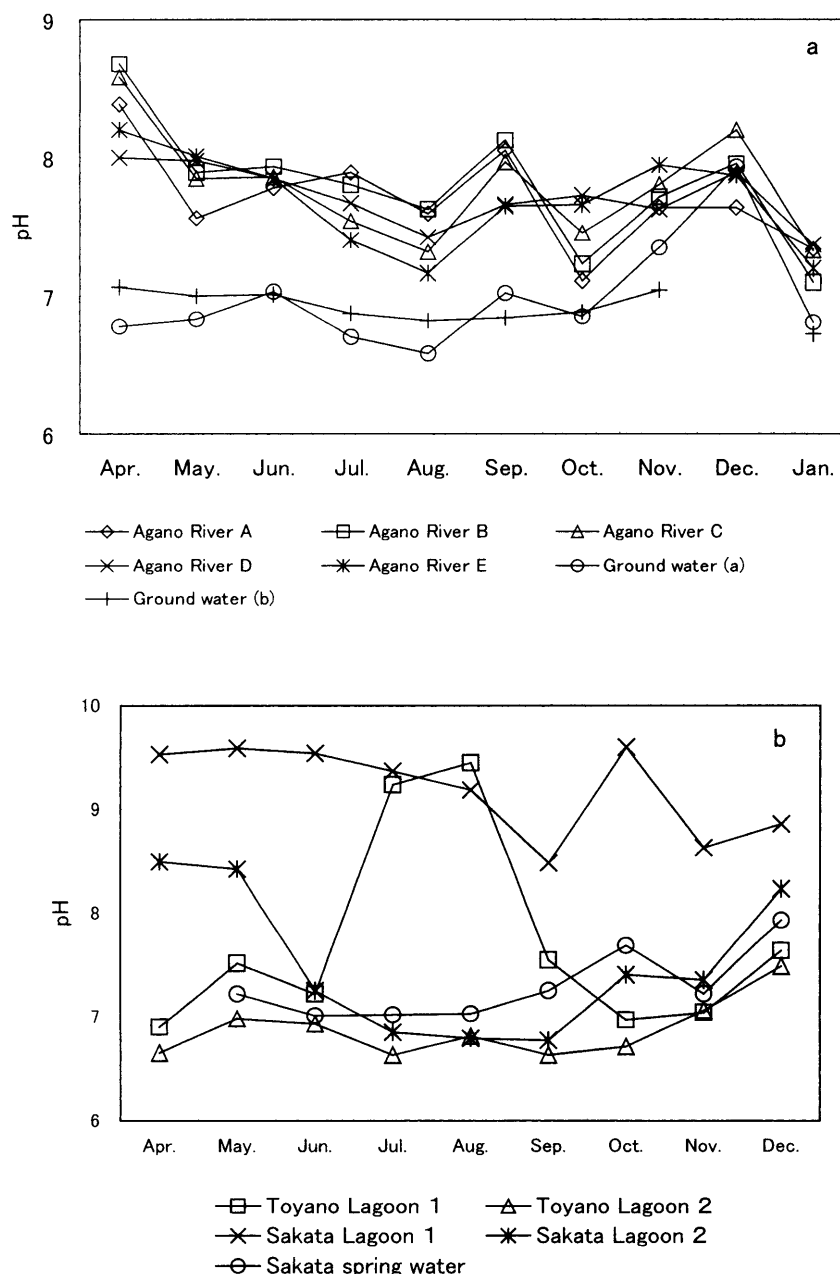


Fig. 9 Monthly variation of pH
a: Agano River, b: Sakata Lagoon and Toyano Lagoon

い冬期では、大気中の酸素が総じて多く溶けているのに対し、水温の高い夏期はあまり溶けていない。すなわち、夏期に有機物量が多くなる原因として、水の蒸発による濃縮のほかに、酸素量の不足による微生物の活動の低減も影響していると考えられる。

次に、本研究における環境水的全データについて、DOと水温との相関をFig. 10bに示す。両者の相関係数が、 $R^2 = 0.514$ から0.132に大幅に減少したのは、Fig. 10aにおいて除外した「曲線から大きく外れた点」に起因するが、これらの点の大部分は、湖沼及び地下水のデータであ

る。実際、地下水のデータは、曲線の下側に大きく外れているのに対し、湖沼が上側に大きく外れている。

地下水は微生物の多く存在している土壌と接触しており、分解対象となる有機物も多く存在するため、微生物が活発に活動し、酸素が消費されていると考えられる。そして、この活動により、 CO_2 が放出され地下水の液性は酸性になる。逆に湖沼では植物プランクトンや水生植物の光合成により大量の酸素が生成するため、過飽和の状態になっていると考えられる。そして光合成によって消費された CO_2 を供給するため式(4)の反応が起こり、結果として

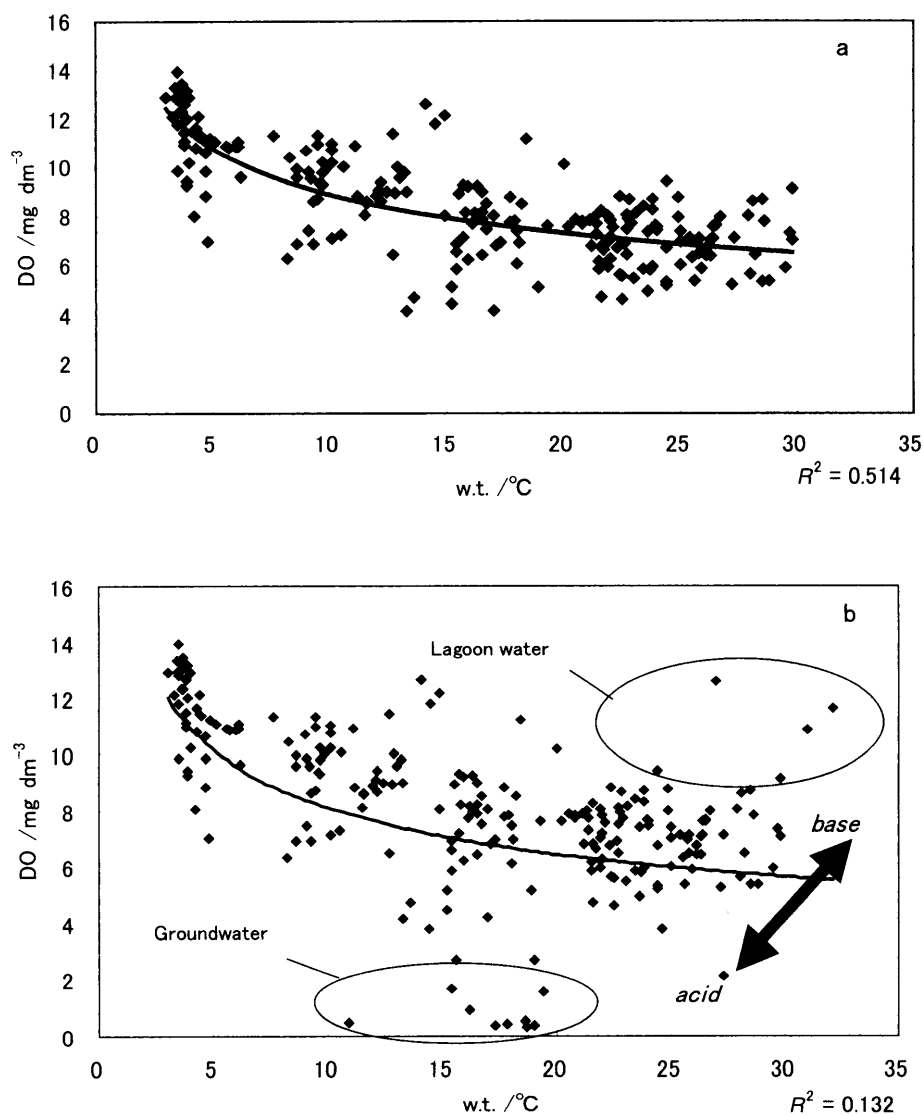


Fig. 10 Relationship between DO and water temperature in environmental waters
a: all sampling points except the point with extreme DO values, b: all sampling points

湖沼の液性は塩基性になる。すなわち、地下には分解者、湖沼には生産者が存在し、これらの二つの水系は、液性やDOの面から見ると、河川水（液性：中性付近）を中心に対照的な性質を持っているとすることができる。

4 結 論

本研究では、湖沼を中心に新潟県の実環境水を研究対象として種々の測定を行い、その解析結果から湖沼の動態の一端を把握することができた。湖沼は地下水からの涵養が大きく、水生植物やプランクトンの作用を強く受けており、その影響が $\delta^{18}\text{O}$ 、主要イオン濃度及び有機物濃度に現れている。また、TOC vs. CODとの相関は、他の水系からの混入の度合いを推測する手掛かりになりうるため、この手法は、地下水などの混入の推定が困難な水系においても

有効であると推察される。更に、佐潟において見られた $\delta^{18}\text{O}$ とTOCとの高い相関は、甲殻類のプランクトンによる水分子の同位体分別に起因していると考えられ、 $\delta^{18}\text{O}$ は有機物汚染の指標にもなりうることを示唆された。

本研究の手法及び得られたデータは、県内の環境水動態把握及び環境保全に対して一助になりうると期待される。

本研究において、安定同位体比測定用質量分析装置の使用及び測定に際して便宜を図ってくださった本学積雪地域災害研究センター渡部直喜講師に心から感謝します。

文 献

- 1) 酒井 均, 松久幸敬著: “安定同位体地球化学”, p. 83 (1995).
- 2) N. M. Kortelainen, J. A. Karhu: *Journal of Hydrology*, **285**, 143 (2004).

- 3) 水谷義彦: ハイドロロジー, **16**, 74 (1986).
- 4) 狩野直樹, 藍原弘行, 小島 令, 竹内香代子, 佐藤明史, 今泉 洋: *RADIOISOTOPES*, **52**, 65 (2003).
- 5) 狩野直樹, 佐藤明史, 今泉 洋: *RADIOISOTOPES*, **53**, 415 (2004).
- 6) P. Brettum: *Environ. International*, **22**, 619 (1996).
- 7) 環境省編: “平成 15 年版 環境白書”, (2003), (ぎょうせい).
- 8) 新潟市市民局環境部環境対策課ホームページ <http://www.city.niigata.niigata.jp/info/kantai/sakata/hozen.htm>.
- 9) 篠塚則子: “化学総説 地球環境と計測化学”, 日本化学会編, p. 73 (1996), (学会出版センター).
- 10) 福島正巳: ぶんせき (*Bunseki*), **1998**, 655.
- 11) 福島正巳: 水環境学会誌, **27**, 82 (2004).
- 12) K. Nakayasu, M. Fukushima, K. Sakai, S. Tanaka, H. Nakamura: *Environ. Toxicol. Chem.*, **18**, 6 (1999).
- 13) 合原 眞, 今任稔彦, 岩永達人, 氏本菊次郎, 吉塚和治, 脇田久伸著: “環境分析化学”, p. 159 (2004).
- 14) JIS K 0101, 100 °C における強酸性の過マンガン酸カリウム法 (1998).
- 15) JIS K 0102, 酸消費量 (pH 4.8) (1998).
- 16) 渡部直喜, 渡部直喜, 柚原雅樹, 佐藤 修, 鈴木将之, 中川 勉: 新潟大災害研年報, **20**, 105 (1998).
- 17) 吉田知司, 池田早苗: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **53**, 1487 (2004).
- 18) 半谷高久, 小倉紀雄: “水質調査法”, p. 34 (1995), (丸善).
- 19) J. Hoefs: “*Stable Isotope Geochemistry*”, p. 151 (1996), (Springer-Verlag, Berlin).
- 20) Little Waves ホームページ http://www.blue.b-city.net/~kaneko/marine/wq_c_equilibrium.htm.

要 旨

汚染防護の観点から、環境水中における汚染物質の動態を把握することは重要である。このような背景から、本研究では新潟県内の河川、湖沼を対象に、これらの水質評価並びに新たな動態評価法を探索することを目的とした。そこで有機体炭素 (TOC)、化学的酸素要求量 (COD)、主要イオン濃度、 $\delta^{18}\text{O}$ 、pH、電気伝導度、溶存酸素を各採水地点について月 1 回測定し、結果を解析したところ、以下のことが明らかになった。(1) TOC 対 COD との相関関係は他の水系からの混合の度合いを推定する手掛かりとなる。(2) 佐潟における環境水では、年間を通じて高濃度の硝酸イオン (NO_3^-) が検出された。特に湧き水においては、30～60 ppm の高濃度を示す試料も見られた。(3) 佐潟において、 $\delta^{18}\text{O}$ と TOC との間に良好な相関関係が見られた。これは甲殻類のプランクトンに起因していると考えられ、 $\delta^{18}\text{O}$ は有機物汚染に関する指標にもなりうることが示唆される。(4) 湖沼水は年間を通して塩基性であったが、地下水は酸性であった。また、湖沼は酸素が過飽和状態にあることが多いのに対し、地下水は不飽和状態にあることが多い。