

十和田湖の水質調査結果

—公共用水域水質調査及び定点層別採水による調査—

花石竜治 工藤幾代 渡部陽一 工藤隆治 齋藤 稔 石塚伸一

昭和46年度に開始した公共用水域としての十和田湖の水質調査結果及び平成11年度以降の十和田湖の定点における層別採水による水質調査結果を取りまとめたので報告する。公共用水域水質調査結果からは、十和田湖の水質が環境基準を達成しなくなった昭和61年度から平成20年度までを前半と後半に分けた場合、前半では経年的な水質の悪化が認められたが、後半では透明度、COD値、全窒素、全リンともに概ね横ばいの状況で推移していたことが分かった。定点における層別採水の調査結果からは、平成16年度にCOD値が2 mg/Lを超えた一時的な水質悪化について、栄養塩類の異常な挙動が前々年ないし前年に観測されていたことが分かった。これらの調査結果から、一時的な水質悪化はあったものの、近年は十和田湖の水質は安定化の傾向にあると考えられた。

Key words: Lake Towada, chemical oxygen demand (COD), clarity of water

1. はじめに

十和田湖は、昭和46年に湖沼の環境基準としてAA類型(COD 75 %値が1 mg/L以下)に指定された。COD 75 %値は昭和61年度以降、1.1~2.0 mg/Lの範囲で推移しており、環境基準を達成できない状況が続いている。また透明度は平成2年度以降、10 mを下回る年が多くなっている。

青森県等は、湖に排出していた生活排水や事業場排水等に係る対策として、昭和55年度に下水道整備事業に着手し、平成3年度から一部供用を開始して、平成8年には対象となる湖畔8集落すべてで供用し、年間約30万m³の汚水を処理している。

さらに、青森・秋田両県は、平成13年に「十和田湖水質・生態系改善行動指針」を策定し、透明度12 m以上、COD 75 %値の1 mg/L以下を目標として掲げ、十和田湖の環境保全に積極的に取り組んでいるところである。

この度、水質汚濁防止法に係る公共用水域水質調査の結果及び十和田湖の水質・生態系環境保全の目的で青森・秋田両県で実施してきた湖の定点層別採水調査の結果等から、近年の十和田湖の水質の状況について取りまとめたので報告する。

2. 方法

2.1 公共用水域水質調査

2.1.1 対象期間

データ解析の対象とした調査結果は、水質汚濁防止法が施行された昭和46年度以降とし、透明度は昭和48年度から、COD値は昭和46年度から、全窒素は昭和48年度から、及び全リンは昭和49年度から平成20年度までとした。

水質調査は青森・秋田両県で分担して行い、近年では、青森県が5、7、9、10及び11月の5回、秋田県が4、6及び8月の3回、年間で8回の調査を実施している。

2.1.2 調査地点

調査地点は図1及び表1に示した9地点であり、このうち環境基準点は「5 中央」と「9 子ノ口前面」である。

2.2 定点層別採水による調査

2.2.1 調査期間及び調査時期

調査期間 平成11年度~20年度

調査時期 青森県 4月、6月、8月、10月及び
11月(年5回)

秋田県 5月、7月及び9月(年3回)

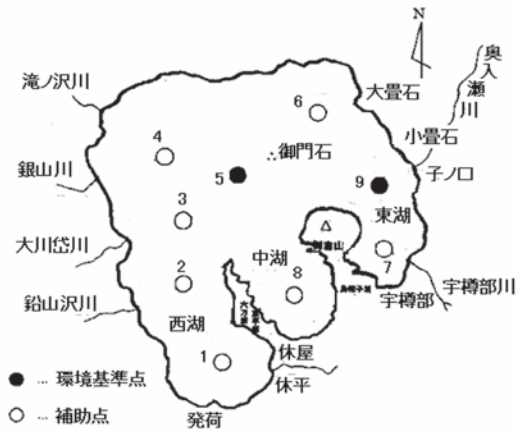


図1 十和田湖における公共用水域水質調査の調査地点

表1 調査地点の名称及び緯度経度（世界測地系）

地点	調査地点名	位置	
		緯度（北緯）	経度（東経）
1	休屋前面	40° 25' 30"	140° 52' 33"
2	鉛山前面	40° 26' 41"	140° 51' 43"
3	大川岱前面	40° 27' 29"	140° 51' 26"
4	銀山前面	40° 28' 33"	140° 50' 52"
5	中央	40° 28' 28"	140° 53' 18"
6	大壘石前面	40° 29' 28"	140° 54' 23"
7	宇樽部前面	40° 27' 25"	140° 55' 49"
8	中湖	40° 26' 32"	140° 54' 03"
9	子ノ口前面	40° 28' 30"	140° 55' 38"

2.2.2 調査地点

調査地点である「定点」の位置を図2に、緯度経度を表2に示した。

調査深度は、表層、5、10、15、20、30、50及び85 mの8層を対象とした。

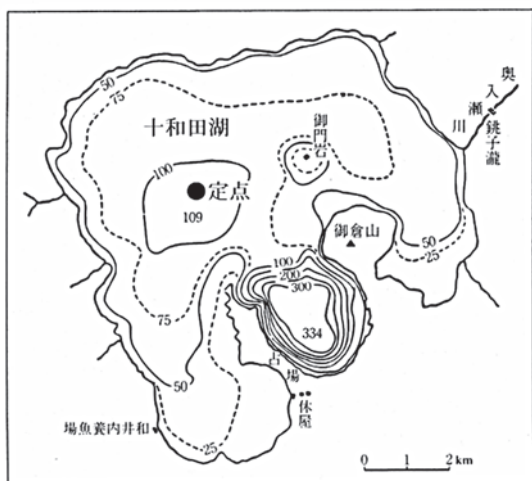


図2 十和田湖定点の位置

表2 調査地点の名称及び緯度経度（世界測地系）

調査地点名	位置	
	緯度（北緯）	経度（東経）
定点	40° 27' 51"	140° 51' 23"

2.2.3 調査項目

調査項目は、天候、気温、水温、透明度、臭気、色相、pH、電気伝導度 (EC)、大腸菌群数、浮遊物質 (SS)、COD、溶存態COD (dCOD)、全窒素 (T-N)、溶存態全窒素 (dTN)、アンモニア性窒素 (NH₄-N)、硝酸性窒素 (NO₃-N)、亜硝酸性窒素 (NO₂-N)、全リン (T-P)、溶存態全リン (dTP)、リン酸性リン (PO₄-P)及びクロロフィル-aである。

なお、溶存態成分の分析には、水質検体を Whatman 社 GF/Fろ紙でろ過したものを供した。

3. 結果

3.1 公共用水域水質調査結果

3.1.1 透明度

(1) 透明度の経年変化

環境基準点「中央」における透明度の年間平均値の推移を示したのが図3である。この図には年度の最大最小値を併記している。

平成13年度に策定された行動指針で目標値とした透明度12 mを基準に考えると、透明度の年間平均値は、昭和48年度から昭和60年度までは12 mを超えた年が多かったが、昭和61年度から23年間では12 mを超えた年度はなかった。

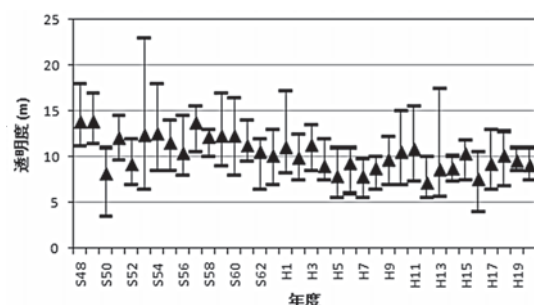


図3 「中央」における透明度の年間平均値の推移

(2) 湖内9地点での透明度の推移

湖内9地点における透明度の年間平均値を示したのが図4である。各地点とも同様の推移をしているが、「休屋前面」地点では、昭和48年度から50年度及び56年度から平成3年度にかけて透明度が相対的に低い傾向があった。

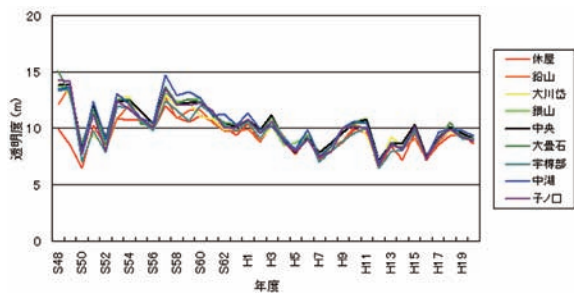


図4 十和田湖内9地点における透明度の推移

(3) 昭和61年度以降の透明度の動向

COD値が環境基準未達成となった昭和61年度から期間の前半の平成9年度まででは、「中央」における透明度の回帰直線は $y = -0.23x + 10.94$ (y : 透明度 (m), x : 年) であり、透明度が次第に低下する傾向があった。しかし、期間の後半の平成10年度以降平成20年度では、透明度は8~10 m程度に落ち着いており、回帰直線は $y = -0.03x + 9.36$ と、ほぼ横ばいの推移であった。

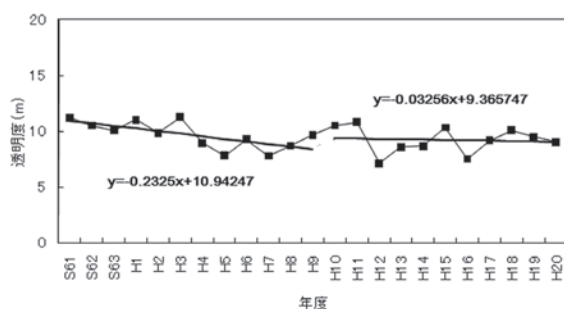


図5 「中央」における昭和61年度以降の透明度の年間平均値の推移

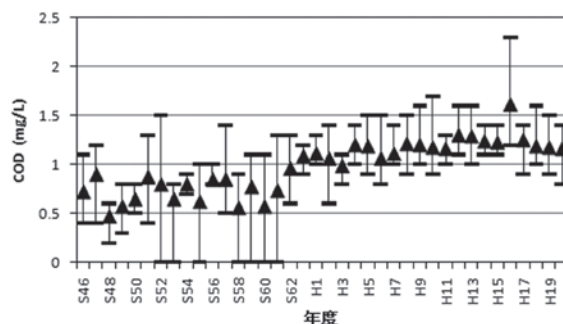
3.1.2 COD

(1) COD値の年間平均値の経年変化

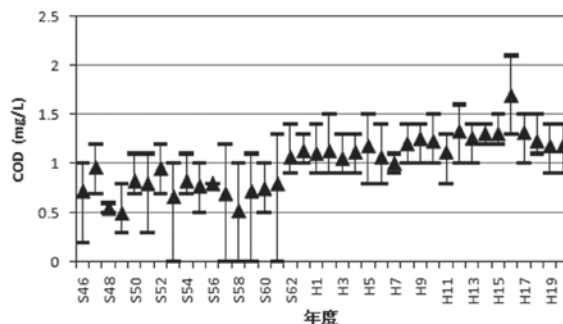
昭和46年度から平成20年度までのCOD値の「中央」及び「子ノ口」における年間平均値の推移(図6 (a) 及び (b))を見ると、昭和46年度から61年度においては、概ねCOD値が0.6~1.0 mg/Lの範囲で推移していたが、「中央」では昭和63年度以降、「子ノ口」では昭和62年度以降、1 mg/Lを上回ることが多くなり、平成16年度の一時的な水質悪化を除くと、1.0~1.3 mg/Lの範囲であった。図6において縦棒は最大最小値を示している。

(2) 湖内9地点別のCOD値の年間平均値の推移

湖内9地点におけるCOD値の年間平均値の推移(図7)を見ると、昭和60年度以前は地点によりCOD値に



(a) 「中央」



(b) 「子ノ口」

図6 COD値の年間平均値の推移

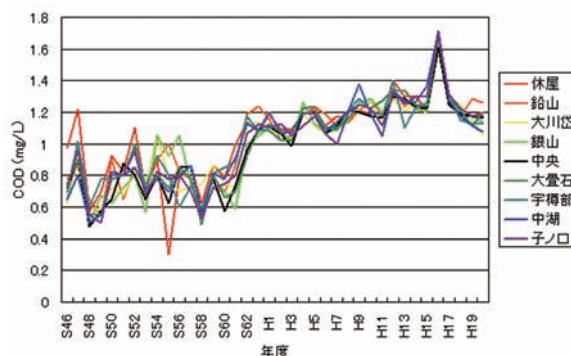
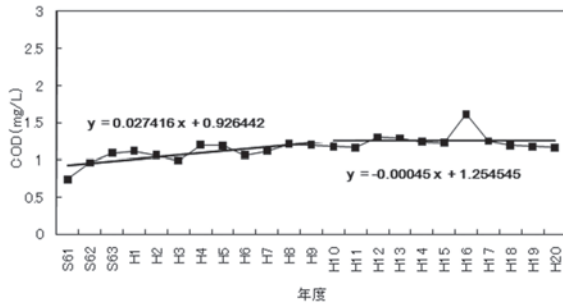


図7 湖内9地点におけるCOD値の年間平均値の推移

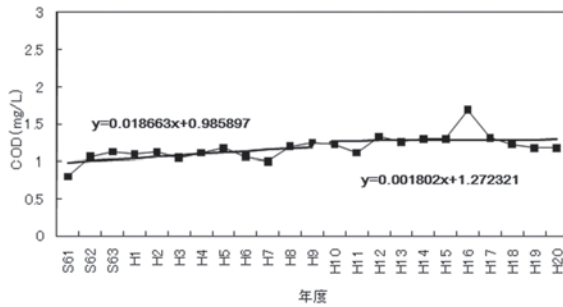
幅があったが、昭和61年度以降は、各地点とも同じような濃度で推移していた。

(3) COD値の昭和61年度以降の動向

昭和61年度以降のCOD値の「中央」及び「子ノ口」における年間平均値の推移(図8 (a) 及び (b))を見ると、昭和61年度から平成20年度までの期間の前半である平成9年度までは、回帰直線は「中央」で $y = 0.027x + 0.926$ (y : COD (mg/L), x : 年)、「子ノ口」で $y = 0.018x + 0.985$ と、緩やかな上昇傾向となっていた。平成16年度にCOD値が一時的に高くなったが、期間の後半の平成10年度から20年度の間では、回帰直線は「中央」で $y = -0.00045x + 1.25454$ 、「子ノ口」で $y = 0.00180x + 1.27232$ と、概ね横ばいの推移であった。



(a) 「中央」



(b) 「子ノ口」

図8 昭和61年度以降のCOD年間平均値の推移

3.1.3 全窒素

(1) 「中央」における全窒素濃度の年間平均値の推移

昭和48年度から平成20年度までの「中央」における全窒素濃度の年間平均値の推移(図9)を見ると、値は<0.05(定量下限値未満)~0.15 mg/Lであった。なお定量下限値はゼロとして計算した。図9における縦棒は最大最小値を示している。

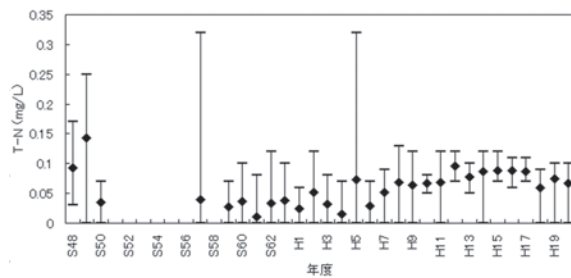


図9 「中央」における全窒素濃度の年間平均値の推移

(2) 全窒素濃度の昭和61年度以降の動向

昭和61年度以降の「中央」における全窒素濃度の推移を見ると、期間の前半の昭和61年度から平成9年度までの回帰直線は $y=0.0037x+0.0201$ (y : T-N (mg/L)、 x : 年)で、全窒素濃度の上昇が認められた。しかし、期間の後半の平成10年度から20年度の間では、回帰直線は $y=-0.0006x+0.0815$ で、傾きがわずかながら

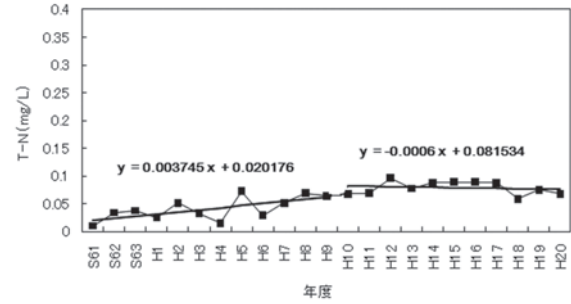


図10 昭和61年度以降の「中央」における全窒素濃度の年間平均値の推移

も負であり、緩やかな減少傾向となっていた。

3.1.4 全リン

(1) 「中央」における全リン濃度の年間平均値の推移

昭和49年度から平成20年度までの「中央」における全リン濃度の年間平均値の推移(図11)を見ると、昭和年代(53及び55年度)に0.005 mg/Lを超える濃度として観測されたことがあったが、昭和56年度以降は0.005 mg/L以下で推移していた。なお図11においては、定量下限値未満の値はゼロとして計算し、グラフの縦棒は最大最小値を示している。

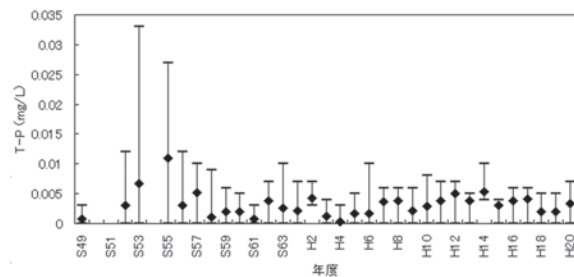


図11 「中央」における全リン濃度の年間平均値の推移

(2) 「中央」における全リン濃度の昭和61年度以降の動向

期間の前半の昭和61年度から平成9年度の間における「中央」の全リン濃度は、定量下限値(0.003 mg/L)付近であった。平成10年度から12年度は上昇したが、期間の後半の回帰直線は $y=-0.00013x+0.00423$ (y : T-P (mg/L)、 x : 年)で、緩やかな減少傾向となっていた。

3.2 定点層別採水による調査結果

3.2.1 COD及び溶存態COD

以下の色別表示3次元プロットは、項目の濃度と水深、時系列をスプライン補間によって描画した。この

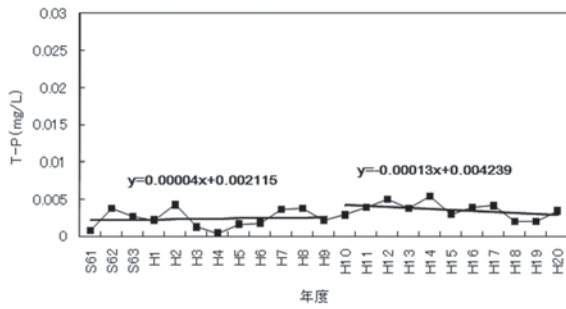


図12 昭和61年以降の「中央」における全リン濃度の年間平均値の推移

3次元プロットは、湖沼の調査結果の解析でよく用いられる方法であり、我が国では、琵琶湖の調査報告書¹⁾などに出てくるものが有名である。

COD値、水深及び時系列の3次元プロットは図13に示すとおりであり、COD値は、多くの調査時期及び水深で1 mg/Lを超えていた。

COD値の季節変動を見ると、循環期とされる春季に湖の鉛直方向で1 mg/L程度の一定の濃度になり、年度の後半である秋季に深部で0.8~0.9 mg/L程度に減少する傾向が観測された。

平成16年度にCOD値が20 mより浅い層で2 mg/Lを超えたが、図14に示した溶存態COD値がそのときには高濃度化しておらず、COD値から溶存態COD値を差し引いて求めた懸濁態COD値は図15のとおりで、平成12年度、13年度にCOD値が上昇したケースとは異なって、懸濁態COD値がCOD濃度の多くを占めていた。

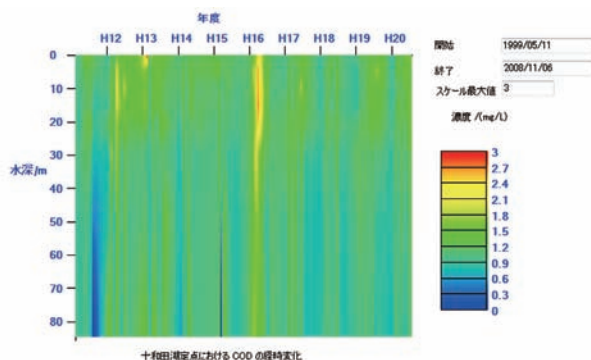


図13 CODの経時変化

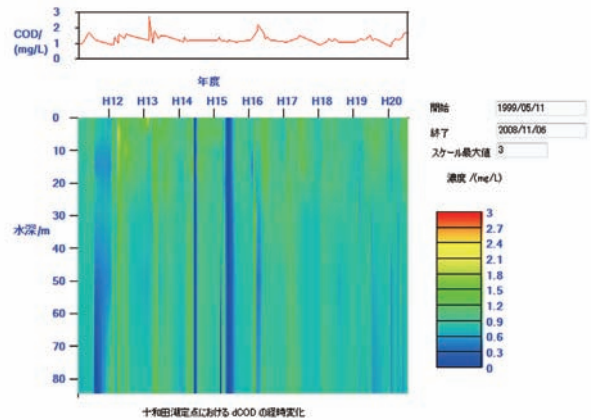


図14 溶存態CODの経時変化(各層最大のCOD値を併記)

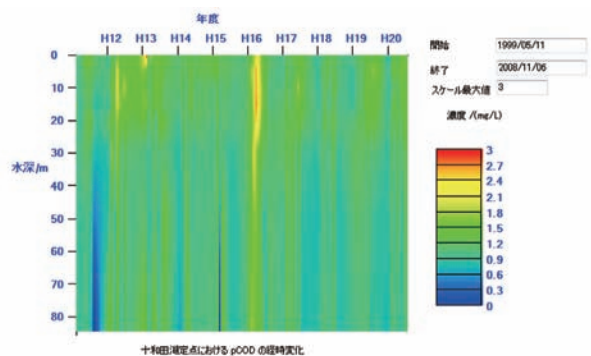


図15 懸濁態CODの経時変化

3.2.2 全窒素 (T-N)、溶存態全窒素 (dTN) 及び硝酸性窒素 (NO₃-N)

全窒素濃度、水深及び時系列の3次元プロットは図16に示すとおりである。全窒素は全調査期間及び全水深を通じて0.1 mg/L前後のことが多かったが、季節変動としては、春季に全層で若干濃度が高く、0.15 mg/L程度になっていた。

図13で明らかだった平成16年度夏季のCOD値上昇に先立って、図16、17に示すとおり、全窒素及び溶存態全窒素の濃度が、春季に高いピークを迎え、0.2 mg/Lを超えていた。

硝酸性窒素の季節変動を図18に示した。

3.2.3 全リン (T-P)、溶存態全リン (dTP) 及びリン酸性リン (PO₄-P)

全リン濃度、水深及び時系列の3次元プロットを図19に示す。

全リン濃度の季節変動は、リンの定量下限値が0.003 mg/Lで高々2~3倍程度の濃度でしか観測されないのので不明瞭であるが、秋季に深部で0.005 mg/L程度の濃度になる傾向があった。

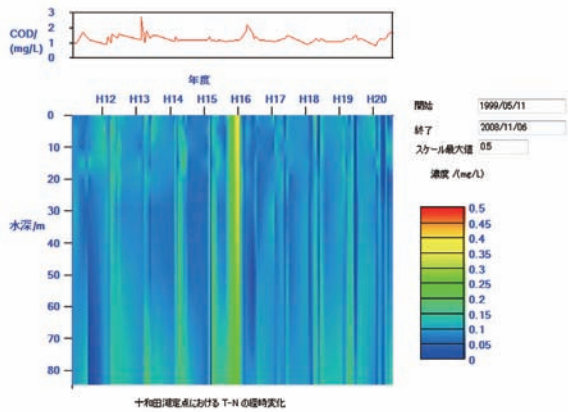


図 16 全窒素の経時変化
(図 14 と同様に COD 値を併記)

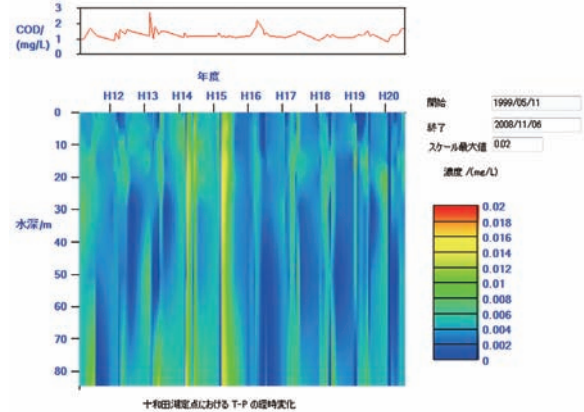


図 19 全リンの経時変化
(図 14 と同様に COD 値を併記)

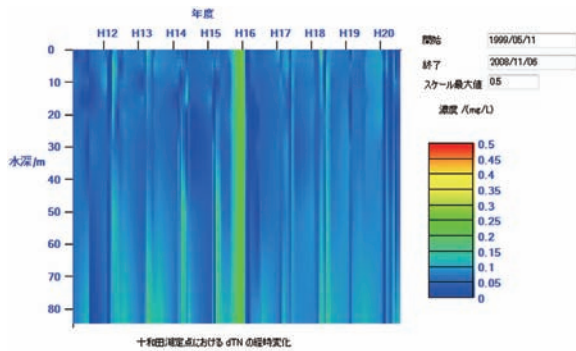


図 17 溶存態全窒素の経時変化

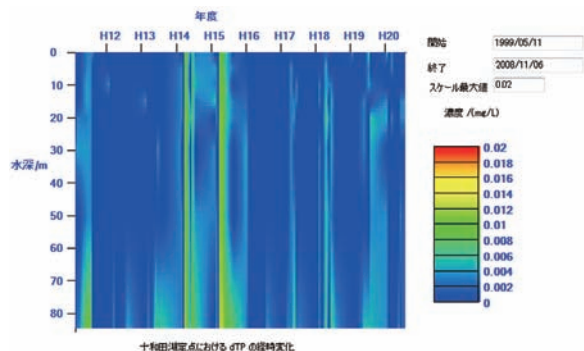


図 20 溶存態全リンの経時変化

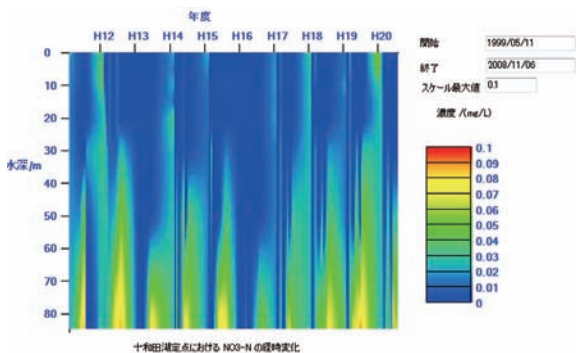


図 18 硝酸性窒素の経時変化

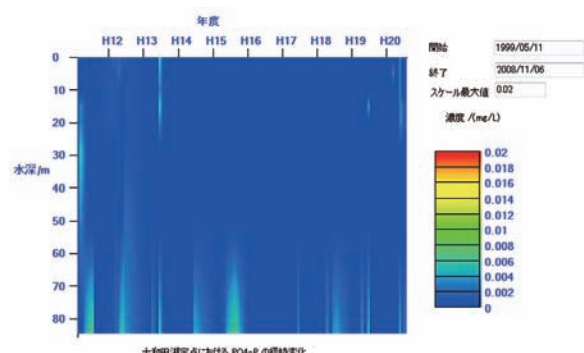


図 21 リン酸性リンの経時変化

COD 値が高値であった平成 16 年度の前の年である 15 年度の夏季に全リン濃度が 0.01 mg/L を超え、この傾向は平成 14 年度にも認められた。溶存態全リンもこれらの時には濃度が上昇していた(図 20)。

図 21 にはリン酸性リンの経時変化を示した。

4. 考 察

4.1 公共用水域水質調査

4.1.1 透明度

透明度は、昭和年代では 12 m 以上の年度が多かったが、一方で調査地点毎の幅も大きく、ことに「休屋前

面」といった観光拠点や人家がある場所の沖合で、「中央」よりも悪化したことが何度か観測されていたことから、生活排水の影響を受けていたものと考えられた。

各地点とも、平成10年度から20年度では、ほぼ横ばいで推移しており、また、湖内での変動幅も小さくなっていた。このことから、近年は水質が安定化の方向にあることが示唆された。

4.1.2 COD

「中央」と「子ノ口」のCOD年間平均値は、平成16年度に一時的な悪化があったものの、平成10年度から20年度では、概ね横ばいで推移していた。透明度と同様に、近年は水質が安定化の方向にあることが示唆された。

4.2 定点層別採水による調査

4.2.1 COD及び溶存態COD

COD値に対する溶存態COD値の占める割合は、概ね7割以上であった。このことは、溶存有機物が十和田湖の環境指標であるCOD値にとって主要な存在ということを示唆する。

4.2.2 全窒素、溶存態全窒素及び硝酸性窒素

図20に示した硝酸性窒素の季節変動については、花石らは平成14年度から18年度までの結果を考察し「厳冬期及び春先は、十和田湖の鉛直方向で水温が一定となる、循環期となることが観測されている。この時期に湖の鉛直方向での拡散が推進されると考えられる。その後、夏から秋になると、日射により浅い層で水温が上昇し、比重が軽くなって成層状態となり、鉛直方向での拡散が抑制される。春から秋にかけては、水深の浅いところでは、日射が届き、植物プランクトンの増殖が促され、硝酸性窒素は栄養分として吸収されると考えられる。」という報告²⁾をしているが、この現象は少なくとも平成11年度からは明確に見られた。しかし、COD高値が観測された平成16年度には秋季にも深部では0.04 mg/L程度で、通常0.08 mg/L程度になるのに対して、それほど高い濃度にはなっていなかった。このことについては、今後の課題の一つとなる。

4.2.3 全リン、溶存態全リン及びリン酸性リン

COD値が高値であった平成16年度の前の年及びその前の年の全リン濃度の上昇は、結果の項で記述したとおりであるが、図23に示したように、これらのリン濃度の上昇は、リン酸性リンとしては寄与が少なく、いわゆるR-P (Residual Phosphorus、残りのリン)と

して、存在形態は有機態等と考えられた。

4.2.4 平成16年度夏季の一時的な水質悪化について

平成16年度にCOD値が高かったことについて、時系列で他の項目を見ると、平成14、15年度の夏季に全リンの濃度上昇が認められ、それを追うようにして16年度の春季に高い窒素の濃度が観測され、次いでCOD値がピークを迎えた。

このことは、リンや窒素濃度の上昇が認められたなら、次にCOD値が高くなる可能性があるということであり、単に透明度やCOD値を監視するのみならず、それを支える要素としての植物プランクトンの栄養塩類である窒素及びリンを観測することで、汚濁を予測できる可能性があると考えられた。

5. まとめ

十和田湖の公共用水域水質調査結果を解析した結果は次のとおりである。

平成10年度から20年度の透明度とCOD値は、概ね横ばいで推移しており、また、湖内での変動幅も小さくなっていたことから、近年は水質が安定化の方向にあることが示唆された。

全窒素及び全リンは、平成元年度以降、定量下限値をわずかに上回ることが多くなったが、近年は定量下限値に近づく傾向がみられた。

また、定点における層別採水による水質調査結果から、平成16年度のCODが高値となった要因として、窒素及びリンの動向が一因と推察された。

なお、湖水の滞留時間は流出入量と貯水量とから、約10年とされている³⁾ことから、10年単位の長いスパンで水質の動向を見ていく必要があると考えられた。

文 献

- 1) 滋賀県琵琶湖研究所編：記念誌 琵琶湖・環境科学研究所センターへの移行にあたって、平成15年
- 2) 花石竜治他：十和田湖定点における水深8層の硝酸性窒素の挙動。青森県環境保健センター研究報告,18,18-21,平成19年
- 3) 吉田毅他：十和田湖における鉱山廃水、下水道処理による水質の将来予測。青森県環境保健センター研究報告,13,32-45,平成14年

Survey Results for Water Quality of Lake Towada - Water quality surveys of public water area and fixed-point stratified water sampling surveys -

Ryuji Hanaishi, Ikuyo Kudo, Youichi Watanabe, Ryuji Kudo, Minoru Saito, Shin-ichi Ishizuka

Here the authors report compiled Lake Towada water quality survey results as a public water area initiated in fiscal 1971 and water quality survey results by stratified water sampling at fixed points in Lake Towada after fiscal 1999. According to the results of water quality survey as a public water area, with the period from fiscal 1986 (when the water quality of Lake Towada started to fail the environmental quality standards) to fiscal 2008 being divided into two, the water quality degraded over the first half, while it turned out that the clarity, COD values, total nitrogen and total phosphorus concentrations remained almost at the same level in the second half. Concerning the temporal water quality degradation in which the COD values exceeded 2 mg/L in fiscal 2004, the authors revealed that the abnormal behaviors of nutritive salts were observed one or two years prior, with survey results of stratified water sampling at fixed points. From these survey results, it was concluded that the water quality of Lake Towada has tended to stabilize in recent years, in spite of the existence of temporal water quality degradation.

Key words: Lake Towada, chemical oxygen demand (COD), clarity of water