

田沢湖の水質等について
 一玉川酸性水中和処理施設稼動以前のの水質等一

組谷 均 小林 裕 片野 登 泉 博克*¹ 高橋 浩*²
 小玉 幹生*³ 神馬 諭 菅 雅春*⁴ 鈴木 雄二 山田 雅春

1 はじめに

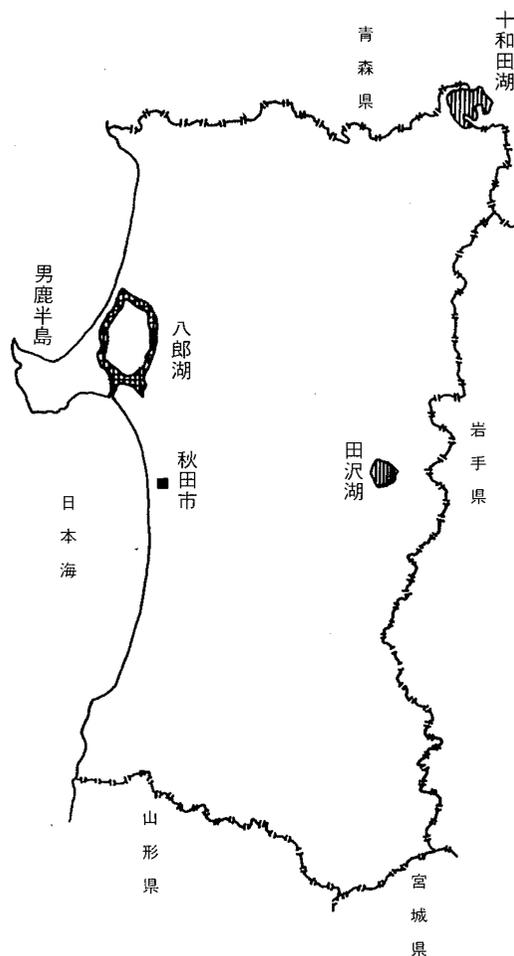
田沢湖は秋田県中央部東端の奥羽山系駒ヶ岳山麓、田沢湖町に位置する湖面海拔249m、湖面積25.5km²、最大水深423.5mのわが国で最も深い典型的な陥没湖である。

元来、この湖は沢水以外の流入河川はなく、流出はかんがい用堰2ヶ所だけの水の出入りの少ない湖であった。

昭和15年に国策による電源開発と農地開拓のため、わが国有数の酸性河川である玉川が導水されて以来、次第に酸性化が進み、この湖だけに棲息したクニマスなど20種類ほどの魚は殆ど絶えてしまい、現在ウグイがわずかに確認されるにすぎない¹⁾。

酸性水導入については、湖水の酸性化が十分予測された事であり、酸性源である玉川温泉水(pH1.1、湧出温度98℃、湧出量0.14m³/sec)の地下溶透法による中和、さらに中性河川である先達川を導水したうえで行ったが、温泉水の中和は事故によりたびたび中断され、特に昭和30年以降その効果は殆ど期待できない状態となった。

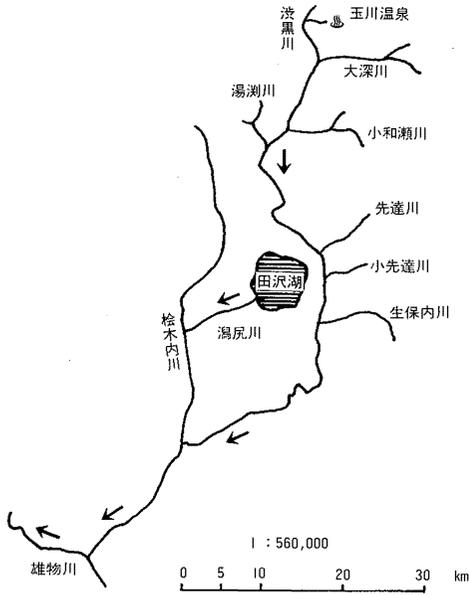
県はpHを現状より悪化させないため、昭和47年から新たに簡易石灰中和を行うとともに、国(建設省)に対して恒久中和対策の実施を要請してきた。これを受けて国は、玉川ダム建設事業の一環として「玉川酸性水中和処理



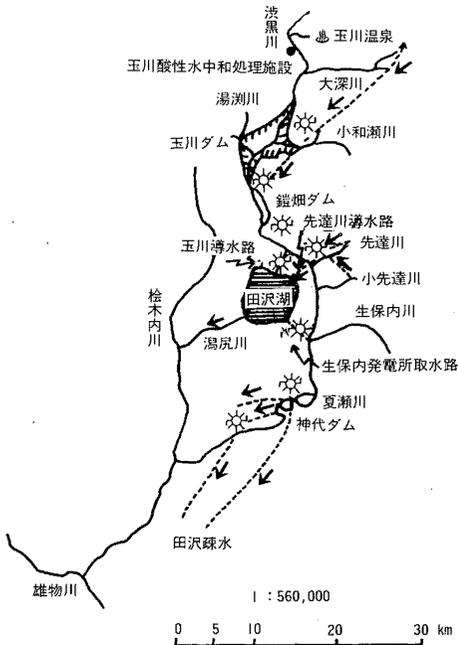
施設」を建設し、平成元年の秋から試験稼動させることになった。

平成3年から本格的な中和事業(維持管理

* 1 現能代保健所 * 2 現環境保全課 * 3 現湯沢保健所 * 4 現生活センター



図一 1 昭和15年以前（田沢湖に玉川を導入する前）の玉川流域の流況



図一 2 現在の流況

費用は建設省、県、県企業局、東北電力の4者が負担）が開始されることにより、玉川は水質改善され、酸性化した田沢湖は、将来ふたたび中性化することが期待される。

当センターでは中和効果による水質の変化及び生物相の変化を追跡するため、中和事業開始前の湖の水質等の調査を行ったので、その結果について報告する。

2 湖の諸元等

昭和15年以前（田沢湖に玉川を導入する前）の玉川流域の流況を図一1に、現在の流況を図一2に示す。

現在、田沢湖へは鑑畑ダム下流から玉川導水路を通して玉川（ $20.55\text{m}^3/\text{sec}$ ）が、更に先達川導水路をとって先達川（ $5.66\text{m}^3/\text{sec}$ ）が導入されている²⁾。湖水の出口としては、湯尻地区にかんがい用取水口があり、かんがい期間中のみ放流しており、湖水の殆どは田子ノ木地区の生保内発電所取水口から玉川に放流されている。生保内発電所の湖水の取水は、湖面海拔249mの水位が237mに下がるまで（有効水深12m、3億 m^3 ）可能となっている²⁾。諸元を表一1に示す。

表一 1 田沢湖の諸元

表面積	25.5 km^2
集水面積	22.3 km^2
最大深度	423.5m
湖水容積	7.2 km^3
平均水深	280m
滞留時間	8.7年
湖面海拔	249m

表-2 水質の分析方法

項目	分析方法
DO	J I S K 0102.32.1
pH	J I S K 0102.12.1
導電率	J I S K 0102.13
Na ⁺	原子吸光法
K ⁺	//
Mg ²⁺	//
Ca ²⁺	//
Mn ²⁺	//
T-Fe	//
Al ³⁺	//
Cl ⁻	イオンクロマト法
SO ₄ ²⁻	//
8.4酸度	中和滴定法
COD	J I S K 0102.17
NH ₄ ⁺ -N	オートアナライザー法
NO ₂ ⁻ -N	//
NO ₃ ⁻ -N	//
T-N	//
PO ₄ ³⁻ -P	//
T-P	//
クロロフィル a	海洋観測指針 9.6

4 調査結果の概要および考察

(1) 湖内調査

1) 透明度、水色について

各調査地点での透明度及び水色の測定結果から、特異な地点はみられない。図-5に昭和63年度及び平成元年度の湖心における透明度の経月変化を、図-6に水色の経月変化を示す。なお、調査時期以外の値は、田沢湖の公用水域水質調査の測定値を使用した。

透明度の経月変化をみると、昭和63年度は、4、5月が10mと高く、6月頃から徐々に低くなり11月には4mとなっている。平成元年度は、4～7月が6.5～4.5mで徐々に低下し

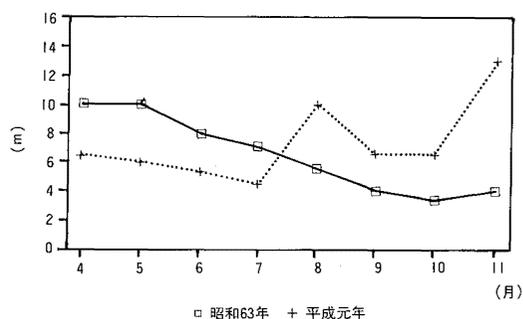


図-5 透明度の経月変化(湖心)

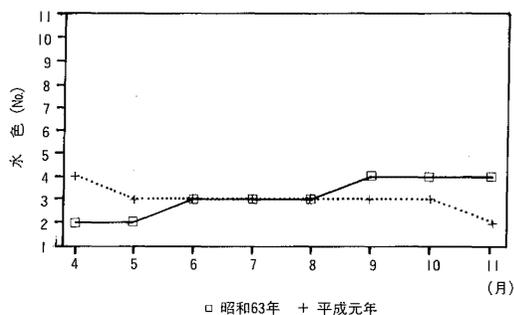


図-6 水色の経月変化(湖心)

ながら推移し、8月に10mのピークを示し、9、10月が6.5m、11月には13mとなり8月以降に透明度が高くなる傾向がみられ、昭和63年度と異なる変化となっている。水色の経月変化をみると、昭和63年度は、4、5月がNo.2で、6～8月がNo.3、9～11月にはNo.4となっている。平成元年度は、4月がNo.4で、5～10月がNo.3、11月にはNo.2となっている。透明度が高くなるほど水色番号が小さくなり、透明度の結果同様、昭和63年度と平成元年度では異なる経月変化となっている。透明度は3.3～13m、水色はNo.2～No.4の範囲にあり、湖面は概ね青色を呈している。

2) 水温について

各調査地点での水温の垂直分布の結果から、各水深における地点間の温度差は、表層から水深40m間では1.2～3.9°Cの時期が散見されるものの、他は1.0°C未満で、特に200m以深で

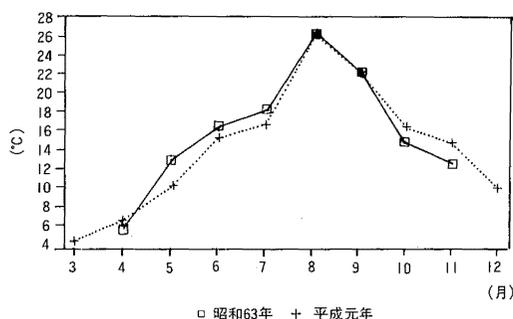
は0.1°C未満となっており、各層内における地点間の差異はあまりみられない。

図一七に湖心における表層水温の経月変化を示す。なお、調査時期以外の値は、田沢湖の公共用水域水質調査の測定値を使用した。

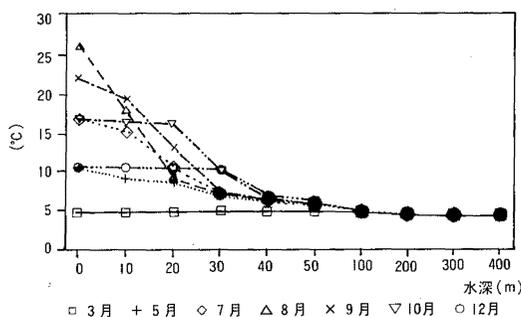
昭和63年度及び平成元年度の経月変化から、表層水温は3月頃から8月頃にかけて上昇し、9月頃から降下している。その変動範囲は、4.82~21.60°Cとなっている。

図一八に湖心における水温の垂直分布の月変化を示す。

水温躍層は、7月から10月にかけてみられる。7月は表層から30m層までの温度差は10.15°Cで8月は19.36°Cで温度勾配が最も大きく、9月は14.93°C、10月は10.0°Cで躍層の深度が20~40m層に移っており、水温躍層は5月過ぎから8月頃にかけて形成され9月から徐々に弱くなる。また、10月には表層(16.60°C)



図一七 表層水温の経月変化(湖心)



図一八 湖心の水温分布(平成元年)

C) から20m層(16.26°C)まで等温となっており、12月には等温層が30m層まで下がっている。気温の低下と共に等温層は深層へ徐々に広がり、1、2月の厳寒期を経た3月には表層(4.82°C)と400m層(3.92°C)の温度差が0.9°Cで不安定な温度分布となっている。各層における水温の年間の変動範囲についてみると、50m層が4.58~5.70°C、100m層が4.30~4.52°C、200m層が3.97~4.04°C、400m層が3.85~3.92°Cとなっており、上層部ほど変動が大きく、200m層以深では変動が非常に小さくなっている。

湖水の循環は風、湖水の密度対流によって起こり、田沢湖の循環期については、一概に断定できないものの、水温の垂直分布の月変化の結果からみると、等温層が形成される10月頃から等温層が400m層まで降下する3月過ぎ頃までと推定される。なお、200m層以深の水温の年間変動は非常に小さく3.9°C程度となっており非完全混合型と考えられ、この時期に循環する深度および深層における循環等の詳細については、中和処理施設稼働後の湖水の水質調査によって明らかになると思われる。

3) 溶存酸素量(DO)について

2年間の調査結果から、DOは7.8~13.8mg/lの範囲で分布している。

各調査地点での垂直分布の結果から、各層内における地点間の差異はあまりみられない。図一九に湖心におけるDOの垂直分布の月変化(平成元年度)を示す。

5月は全層が12mg/l前後で一様な濃度分布となっている。水温躍層がみられる7、9月は表層から20m層の濃度が9mg/l前後と小さくなり、10月には水温が等温となる表層から20m層の濃度が、10mg/l位でほぼ同

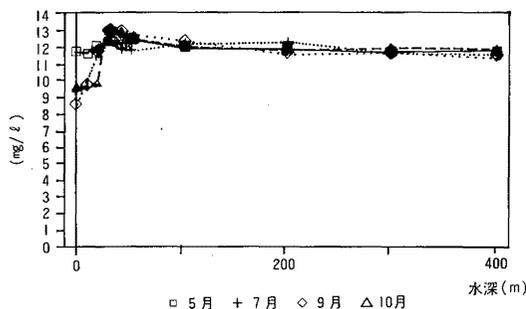


図-9 湖心のDO分布 (平成元年)

様な濃度となっている。深水層は12mg/l前後の濃度となっており、時期的な変動が小さく垂直分布も一様で、深さとともに濃度が若干低くなっている。このような傾向は昭和63年度においてもみられる。また、酸素飽和度では表層部が100%前後で、深層が90%前後となっている。

2年間の平均値は11.5mg/lで、環境基準値を満たしており、DOは深層においても豊富である。

4) pHについて

2年間の調査結果から、pHは4.40~5.17の範囲で分布している。

各調査地点での垂直分布の結果から、各層内における地点間の差異はあまりみられない。図-10に湖心におけるpHの垂直分布の月変化 (平成元年度) を示す。

表層および10m層では時期的な変動がみられ、その濃度範囲は4.46~5.17となっている。20m層以深では4.6前後の濃度となっており、時期的な変動が小さく垂直分布も一様となっている。このような傾向は昭和63年度においてもみられる。表層部における時期的な濃度変動は、7、9、10月は水温躍層がみられる時期であることから、流入水の水質の影響と思われる。

2年間の平均値は4.69で、湖全体が酸性化

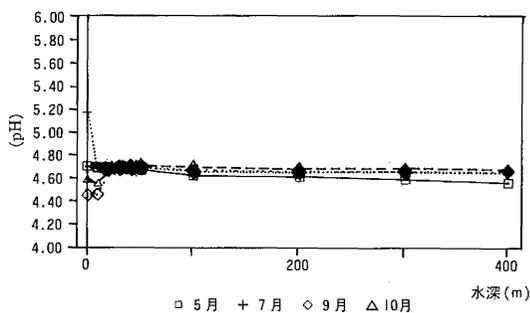


図-10 湖心のpH分布 (平成元年)

している。

5) 導電率について

2年間の調査結果から、導電率は103~147 $\mu\text{s}/\text{cm}$ の範囲で分布している。

各調査地点での垂直分布の結果から、各層内における地点間の差異はあまりみられない。図-11に湖心における導電率の垂直分布の月変化 (平成元年度) を示す。

各月とも120 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 前後で分布している。表層および10m層では13 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 程度の時期的な差異がみられ、20m層以深では垂直分布が一様となっている。このような傾向は昭和63年度においてもみられる。

2年間の平均値は、120 $\mu\text{s}/\text{cm}$ である。

6) 陽イオン、陰イオン、8.4酸度について

2年間の調査結果から、 Na^+ の濃度は3.3~6.9mg/l (平均値5.0mg/l)、 K^+ は0.5~0.9mg/l (0.7mg/l)、 Mg^{2+} は1.4~1.8mg/l (1.6mg/l)、 Ca^{2+} は5.0~7.5mg/l (6.8mg/l)、 Mn^{2+} は0.02~0.09mg/l (0.06mg/l)、T-Feは0.01~0.28mg/l (0.05mg/l)、 Al^{3+} は0.9~2.1mg/l (1.7mg/l)、 Cl^- は15~23mg/l (17mg/l)、 SO_4^{2-} は22~30mg/l (25mg/l)、8.4酸度は12~17mg CaCO_3 /l (14mg CaCO_3 /l)の範囲で分布している。

各調査地点での各項目の垂直分布の結果か

ら、特異な地点はみられない。図-12~21に湖心における各項目の垂直分布(平成元年度)を示す。

水温躍層がみられる表層から40m層では下層と比較すると時期的な変動および上下層間の濃度変動がみられ、深水層では垂直分布が

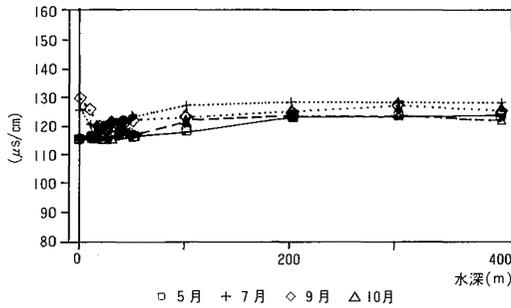


図-11 湖心の導電率分布 (平成元年)

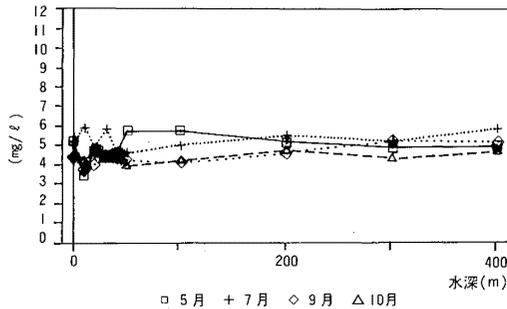


図-12 湖心のNa⁺分布 (平成元年)

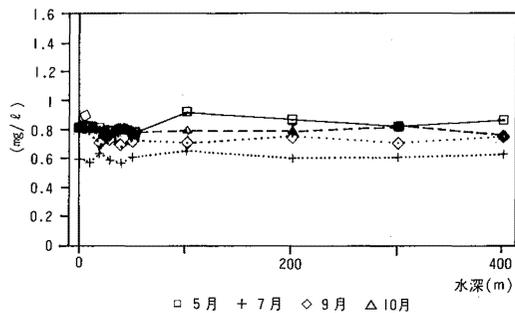


図-13 湖心のK⁺分布 (平成元年)

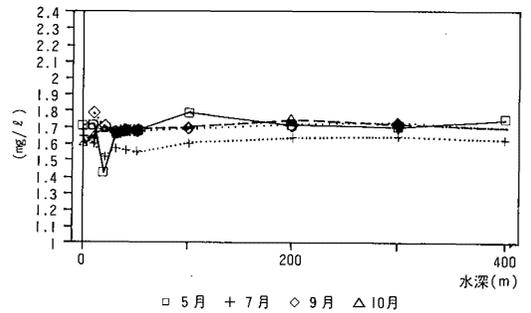


図-14 湖心のMg²⁺分布 (平成元年)

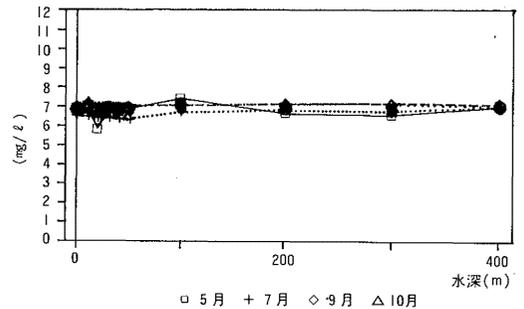


図-15 湖心のCa²⁺分布 (平成元年)

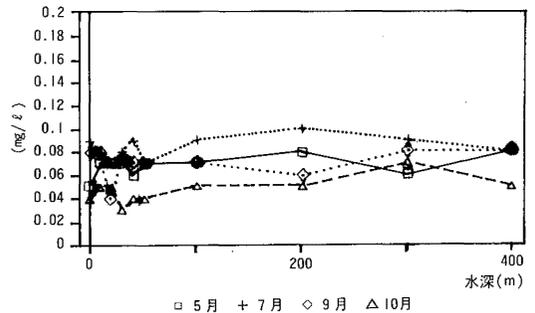


図-16 湖心のMn²⁺分布 (平成元年)

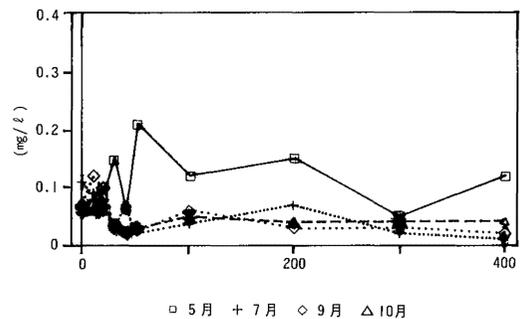
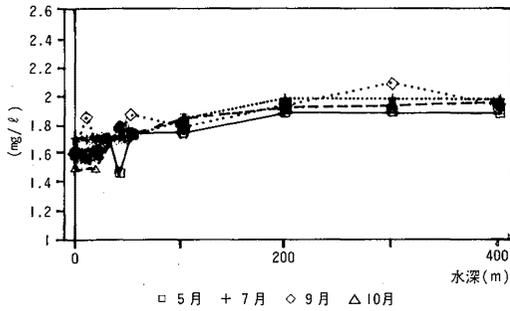
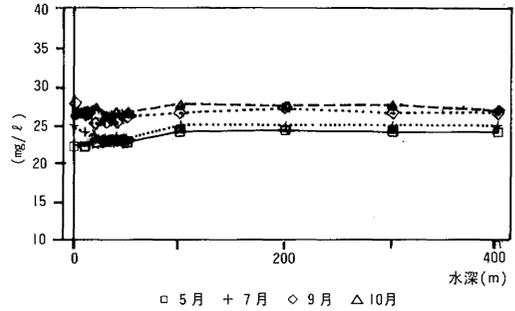


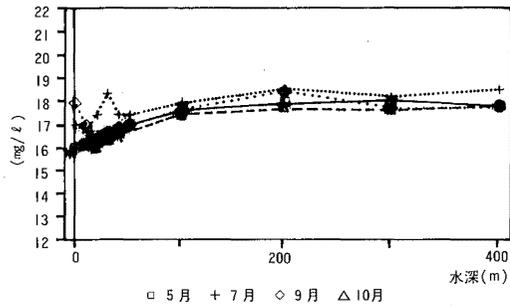
図-17 湖心のT-Fe分布 (平成元年)



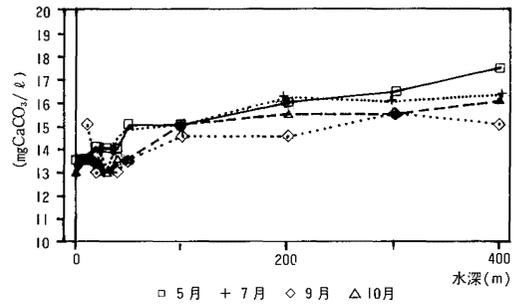
図一18 湖心の Al^{3+} 分布 (平成元年)



図一20 湖心の SO_4^{2-} 分布 (平成元年)



図一19 湖心の Cl^- 分布 (平成元年)



図一21 湖心の8.4酸度分布 (平成元年)

ほぼ一様となっている。T-Feは表層部で濃度が高く、 Al^{3+} 、 Cl^- 、8.4酸度は深さとともに濃度が高くなっている。このような傾向は昭和63年度においてもみられる。中性水域と比較すると Al^{3+} の濃度が高い。

7) 化学的酸素要求量 (COD) について

2年間の調査結果から、CODの濃度は $<0.5\sim 1.0\text{mg/L}$ の範囲で分布している。

平成元年度の各調査地点での垂直分布の結果から、主に10~30m層の濃度が高くなっている。CODは環境基準値以内となっている。

8) 窒素、りん、クロロフィルaについて

2年間の調査結果から、 NH_4^+-N (アンモニア態窒素)の濃度は $<0.05\sim 0.07\text{mg/L}$ (平均値 0.05mg/L : 定量下限未満の値は定量下限値として算出)、 $NO_2^- -N$ (亜硝酸態窒素)は $<0.01\text{mg/L}$ 、 $NO_3^- -N$ (硝酸態窒素)は $0.05\sim 0.13\text{mg/L}$ (0.08mg/L)、T-N(全

窒素)は $0.06\sim 0.22\text{mg/L}$ (0.12mg/L)、 $PO_4^{3-} -P$ (りん酸態りん)は $<0.01\text{mg/L}$ 、T-P(全りん)は $<0.003\sim 0.07\text{mg/L}$ (0.01mg/L)、クロロフィルa(表層の測定値)は $<0.5\sim 0.5\mu\text{g/L}$ の範囲で分布している。

各調査地点での垂直分布の結果から、特異な地点はみられない。図一22に昭和63年度の $NO_3^- -N$ およびT-Nの各水深における平均濃度(3地点、4回)の分布を、図一23に平成元年度の平均濃度(4地点、4回)の分布を示す。

$NO_3^- -N$ についてみると、昭和63年度では全層の濃度が一定となっているが、平成元年度では深さとともに濃度が若干高くなっている。T-Nについてみると、昭和63年度では全層の濃度がほぼ一定となっているが、平成元年度では20m層が極小となり深さとともに濃度が若干高くなっている。また、 $NO_3^- -N$ 濃度がT

-N濃度に占める割合は、昭和63年度が60%前後で平成元年度が60~80%程度となっている。

N、Pはともに富栄養化の基本的な要因物質であり、湖沼などの富栄養化状態を評価す

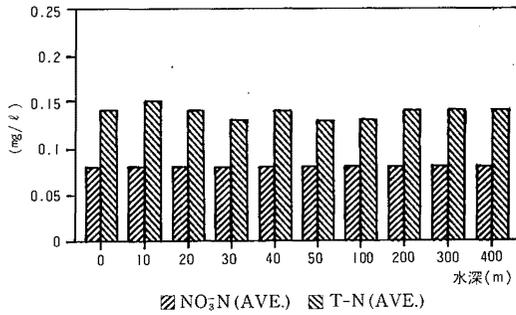


図-22 昭和63年度のNO₃-N、T-N分布

る重要な指標となっている。坂本(1966)はN及びP濃度による区分を、貧栄養：T-N 0.02~0.2mg/l、T-P 0.002~0.02mg/l、中栄養：T-N 0.1~0.7mg/l、T-P

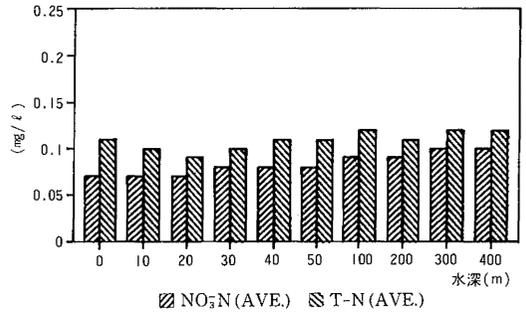


図-23 平成元年度のNO₃-N、T-N分布

表-3 動植物プランクトンの調査結果 (湖心)

	昭和63年				平成元年			
	5月	8月	9月	10月	5月	7月	9月	10月
動物プランクトン								
輪虫類								
<u>Brachionus rubens</u>			r r	c				
植物プランクトン								
緑藻類								
<u>Ulothrix</u> sp.							r r	r r
珪藻類								
<u>Amphora</u> sp.					r r	r r		
<u>Asterionella</u> sp.					r r			
<u>Coscinodiscus lucustris</u>		r r	r r	r r				
<u>Cymbella</u> sp.	r r		r r		r r			
<u>Diatoma</u> sp.					r r		r r	
<u>Fragilaria</u> sp.		r r						
<u>Gomphonema</u> sp.					r r			
<u>Navicula</u> sp.	r r					r r		
<u>Nitzschia</u> sp.	r r	r r						
<u>Suriella</u> sp.			r r					
<u>Synedra ulna</u>			r r		r r		r r	
<u>Tabellaria</u> sp.			r r					

0.01~0.03mg/ℓ、富栄養：T-N 0.5~1.3 mg/ℓ、T-P 0.01~0.09mg/ℓに分類している³⁾。

これらの値を参考にして田沢湖の分類を行うと、貧栄養湖に類別される。

9) プランクトンについて

動物プランクトン、植物プランクトンともにその量は極めて少ない。ただ動物プランクトンについては、平成元年10月に一時的にかなりの量のアカツボムシ (Brachionus rubens：水野寿彦氏の同定による⁴⁾) の発生が見られた。湖心における24時間沈澱量は0.5ml/m³であった。湖心における分析結果を表一3に示す。

種類数、量とも少ない中で、5月はやや種類数が増すようにおもわれる。

(2) 流入河川調査

流入河川水等のpHと導電率を測定した。玉川導水路のpHは4.60~4.80、導電率は80.2~132μs/cm、先達川導水路のpHは6.48~6.96、導電率は137~180μs/cmで、昭和15年以前から湖に流入している沢水等のpHは5.98~7.24、導電率は37.2~87.3μs/cmの範囲となっており、玉川導水路を除き特異な水質の流入水はみられない。

5 まとめ

湖水は、青色を呈し溶存酸素が豊富で、深層まで酸性化しており、中性水域と比較し、Al³⁺濃度が高い。T-Feは表層部で濃度が高く、Al³⁺、Cl⁻、8.4酸度は深さとともに濃度が高くなっている。湖水の化学成分の調査は、水温成層が形成されている時期に行われたため、表層部では流入水の影響による時期的な水質変動がみられるが、湖内の水質はほぼ一様となっている。

また、田沢湖は貧栄養湖と評価されるが、T-N、T-Pの個々の測定値では十和田湖より高い値もみられ、水系の生物相を予測することは困難であるが、湖水の中性化にともなって生物活動が活発になり、種類・量とも増えると思われる。湖のpHが上昇する過程での生物相および栄養塩類の動向を観察する必要がある。

なお、田沢湖のpH回復に要する期間は、田沢湖を完全混合系と仮定し、湖水のpHを6に回復させるには21年という長期間を要すると推定されている⁵⁾。しかしながら、水温の年間変化から200m層以深の温度変動は0.1℃未満で非常に小さく、非完全混合系と考えられ、田沢湖のpH回復の期間は推定期間より遅れる反面、田沢湖から流出する湖水のpHの上昇は推定期間より速まるとされる。また、加藤の水質シミュレーションによると、田沢湖のpHは15年程度後にpH 6に回復すると予測している⁶⁾。

参 考 文 献 等

- 1) 秋田県内水面水産指導所事業報告書，昭和63年2月，秋田県内水面水産指導所
- 2) 玉川毒水の現況と対策，昭和52年9月，東北農政局計画部資源課
- 3) 八郎湖水質汚濁機構解明調査総合報告書，昭和60年3月，秋田県生活環境部環境保全課，秋田県環境技術センター
- 4) 当センターで採取したものを農業環境技術研究所，戸田任重氏を通じて依頼
- 5) 秋田県玉川毒水排除対策事業基本計画書，昭和49年6月，秋田県環境保健部公害課
- 6) 加藤 敏治：公害と対策，vol.25，No.10，45(1989)