

田沢湖の水質等に関する調査研究（第2報） —玉川酸性水中和処理施設稼働後の水質等—

加藤 潤 組谷 均^{*1} 久米 均^{*2} 片野 登

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（図1）。

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業用水として利用するため、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、ウグイがわずかに確認されるにすぎなかった¹⁾。

酸性水導入については、酸性源である玉川温泉水（大噴：pH1.1、湧出温度98°C、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。これを受けた国は、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9月から試験

稼働に入った。平成元年10月に玉川ダムの試験湛水が行われ、平成2年6月には玉川ダム

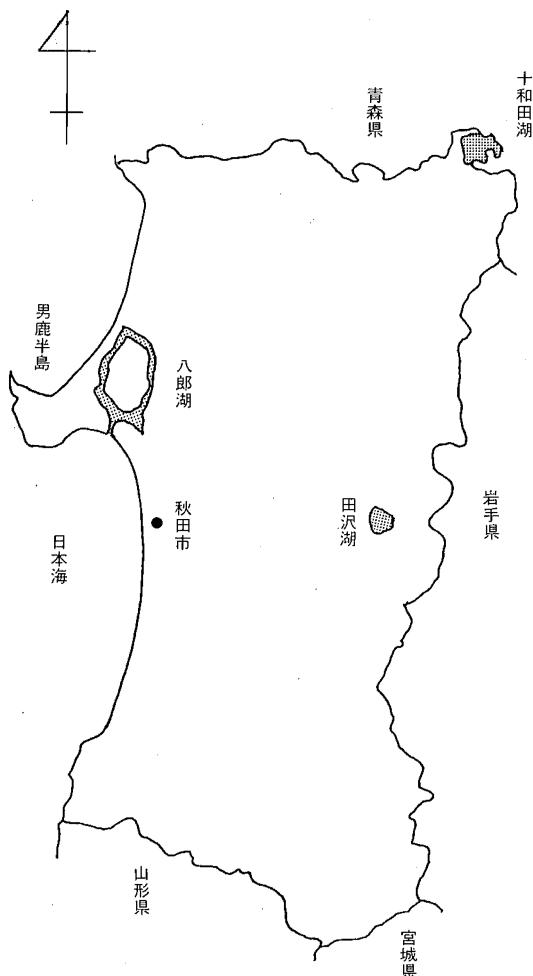


図1 田沢湖の位置図

*1 現秋田保健所 *2 現大気担当

から放水が開始され、平成3年4月に本格的な中和事業（維持管理費用は建設省、県、県企業局、東北電力の4者が負担）を開始した。

その結果、田沢湖の表層から20m層までのpHが改善され、平成3年6月ごろから潟尻地区でウグイの魚影が目立ちはじめ、現在では500匹ぐらいが群をなし回遊する姿がもくげきされるようになったとの報道もある²⁾。現在の流況を図2に示す。

のことにより、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、中和効果による田沢湖の水質や生物相等の変化について継続的に調査研究を行うことにしている。本報では中和事

業開始後の平成2、3年の2ヶ年にわたる田沢湖の水質等の調査結果について報告する。

2 調査方法

2.1 調査期間

平成2年度～平成3年度

2.2 調査地点（図3に示す）

No.1 湖心、No.2 相内潟、No.3 春山、No.4 潟尻、No.5 田子ノ木、No.6 田沢湖発電所前、No.7 生保内発電所取水口、No.8 玉川導水路、No.9 先達川導水路

2.3 調査時期

4月～11月

2.4 調査水深

表層(0m)、-10m、-20m、-30m、-40m、-50m、-75m、-10m、-200m、-400m(-300m)

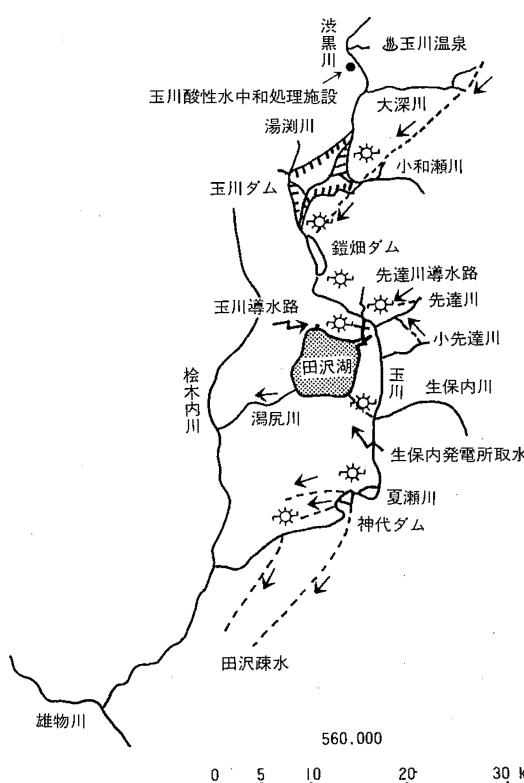


図2 現在の流況

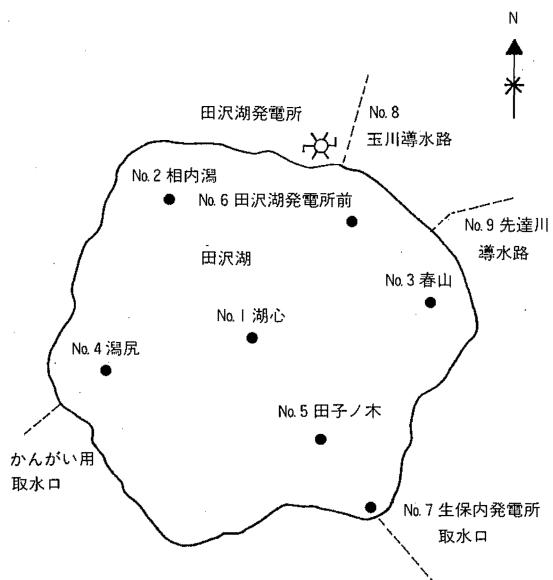


図3 調査地点

2.5 調査項目及び分析方法等

調査項目及び分析方法を表1に示す。

透明度はセッキー円板(径30cm)、水色はフォーレル水色標準液、水温は防圧型転倒式温度計及びCTD計測器で測定し、採水はGOFLOニスキン採水器を使用した。プランクトンは北原式定量ネット(口径25cm、XX-13)を用い、水深20mから表層までの垂直曳きにより採取した。得られた試料は、その場でホルマリン固定し、持ち帰ったのち分析した。

表1 水質の分析方法

項目	分析方法
導電率	JIS K0102 13
透明度	海洋観測指針 4.1 セッキー板
pH	JIS K0102 12.1
DO	JIS K0102 32.1
COD	JIS K0102 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
Al ³⁺	原子吸光法
Mn ²⁺	"
T-Fe	"
Cl ⁻	イオンクロマト法
SO ₄ ²⁻	"
Na ⁺	原子吸光法
K ⁺	"
Ca ²⁺	"
Mg ²⁺	"
8.4酸度	JIS K0102 16.1に準拠

3 調査結果の概要および考察

3.1 透明度、水色

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4に湖心における透明度の経月変化を示す。透明度の経月変化をみると、過去9年間(平年:昭和57年~平成2年)は4月から10月にかけ11.6~5.5mと透明度が徐々に低下しながら推移しているが、平成3年度は、4~7月が7.5~4.0mで徐々に低下しながら推移し、それ以降の8~11月が5.5~8.5mと透明度が徐々に高くなる傾向がみられた。

このように、平成3年度に透明度が平年と異なって、夏から秋にかけ上昇したのはこの年だけのものか、今後もこのような経過をたどるのかをみきわめる必要がある。

しかしながら、湖の透明度は年々わずかづつであるが低下する傾向にあり、その要因については現在のところわからない。

また、水色はNo.2~No.3の範囲にあり、湖面は概ね青色を呈している。

3.2 水温

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1~5℃の時期が散見されるものの、他は1℃未満で、特に200m以深

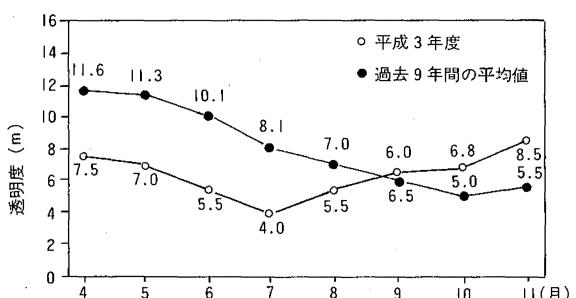


図4 田沢湖の透明度の経月変化(湖心)

では0.3°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5に湖心における表層水温の経月変化を示す。これによると、表層水温は4月から9月頃にかけて上昇し、10月から降下している。平成2、3年の水温の変動範囲は、7.1～21.7°Cとなっている。

図6に平成3年度の湖心（5月は潟尻）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10.95°C、9月は12.66°C、10月は8.92°Cで躍層の深度が20～30m層に移っている。水温躍層は5月過ぎから9月頃にかけて形成され、10月から徐々に弱くなる。また、10月には表層（17.50°C）から20m層（17.18°C）まで等温となっている。組谷ら³は湖水の循環は風、湖水の温度差等の運動によって起こり、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している。なお、200m層以深の水温の年間変動は非常に小さく、年間を通じ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

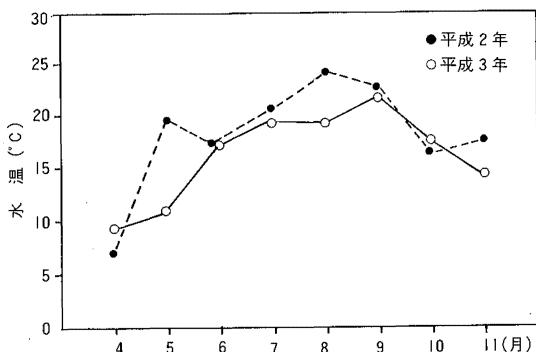


図5 表層水温の経月変化（湖心）

する深度および深層における循環等の詳細については、今後の湖水の水質調査によって明らかになるものと思われる。

3.3 溶存酸素量（DO）

2年間の調査結果から、DOは8.8～16.4 mg/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7に湖心におけるDOの、垂直分布の月変化（平成3年度）を示す。

5月は全層が12mg/l前後で、ほぼ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10mg/l前後

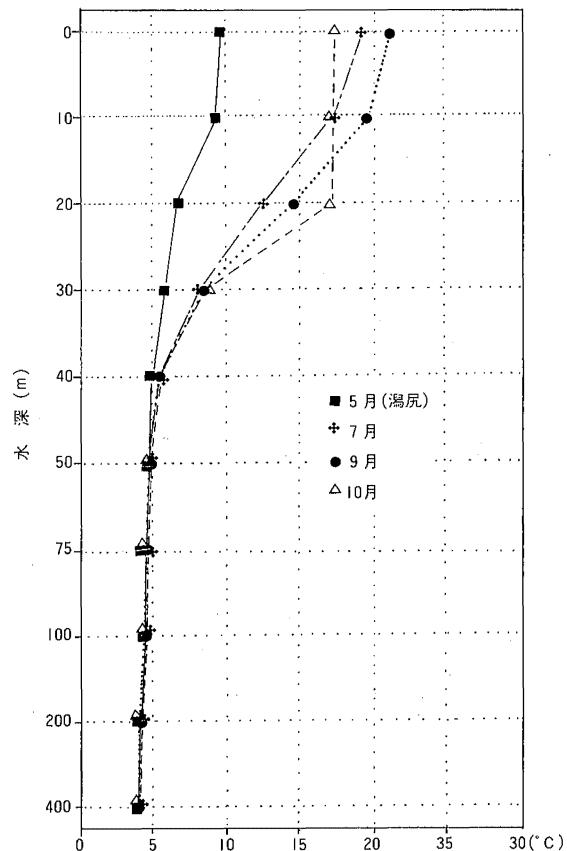


図6 湖心の水温分布（平成3年）

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9 mg/l位で、ほぼ同様な濃度となっている。また、30m層以深は12 mg/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、平成2年度においてもみられる。また、DOは、環境基準値を満たしており、深層においても豊富である。

3.4 pH

2年間の調査結果から、pHは4.61~5.89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8に湖心におけるpHの、垂直分布の月変化（平成3年度）を示す。

表層、10m層および20m層ではそれぞれpHが4.86~5.49、4.89~5.45、4.88~5.50と春から秋にかけ徐々に上昇し、30m層以深では時期的な変動が小さく垂直分布も一様で、深さとともにpHが若干低くなり、400m層では4.65前後になっている。

中和処理施設稼働前のpHと比較すると、表

層から20m層までが高くなっているが、30m層以深では殆ど変化はみられない。

このように表層部における時期的なpHの変動は、7、9、10月には水温躍層が形成される時期であることから、流入水の影響と考えられる。

また、30m層以深のpHの改善をするためには、ばっき等により水温躍層を取り除き水の循環を行う必要がある。

3.5 導電率

2年間の調査結果から導電率は88.8~176 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 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9に湖心における導電率の、垂直分布の月変化（平成3年度）を示す。

各月（9月を除く）とも、110 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 前後で分布している。表層から20m層までは若干の時期的な差異がみられ、30m層以深では垂直分布が一様となっている。9月については表層、200m層、400m層で高い値になっている。

3.6 陽イオン、陰イオン、8.4酸度

2年間の調査結果から、 Na^+ の濃度は

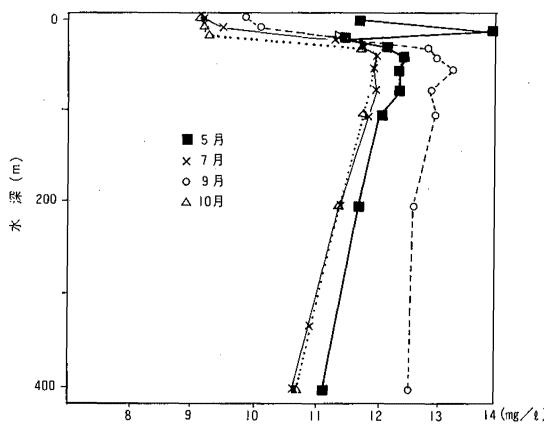


図7 湖心のDO分布（平成3年）

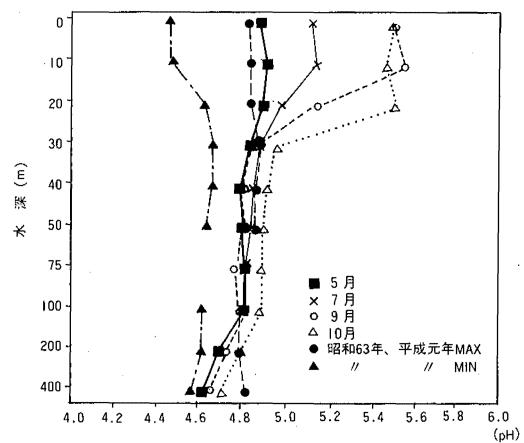


図8 湖心のpH分布（平成3年）

$3.6 \sim 7.0 \text{mg/l}$ 、 K^+ は $0.5 \sim 0.9 \text{mg/l}$ 、 Mg^{2+} は $1.5 \sim 1.8 \text{mg/l}$ 、 Ca^{2+} は $4.1 \sim 9.4 \text{mg/l}$ 、 Mn^{2+} は $<0.05 \sim 0.09 \text{mg/l}$ 、 $\text{T}-\text{Fe}$ は $<0.1 \sim 0.1 \text{mg/l}$ 、 Al^{3+} は $0.2 \sim 2.1 \text{mg/l}$ 、 Cl^- は $12 \sim 19 \text{mg/l}$ 、 SO_4^{2-} は $16 \sim 30 \text{mg/l}$ 、8.4酸度は $4.5 \sim 16 \text{mgCaCO}_3/\ell$ 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10～17に湖心における各項目の垂直分布（平成3年度）を示す。

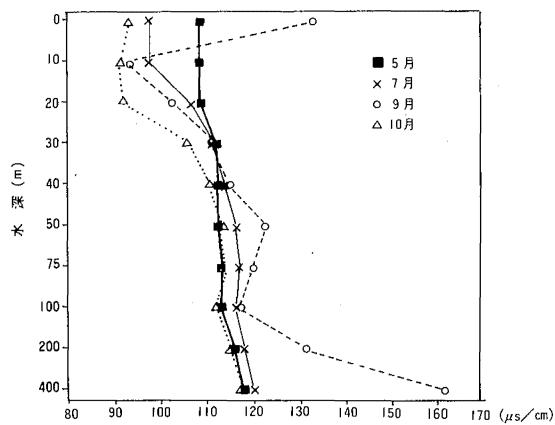


図9 湖心の導電率分布（平成3年）

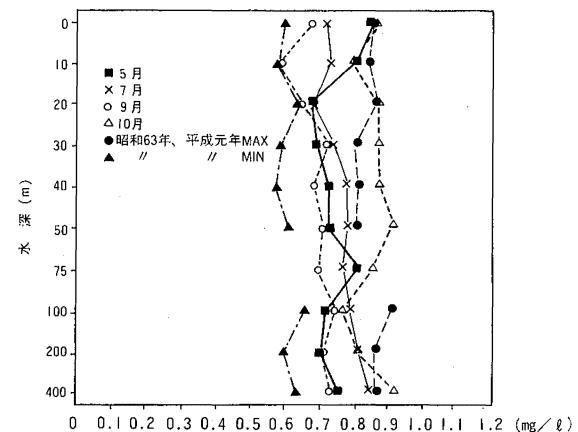


図11 湖心の K^+ 分布（平成3年）

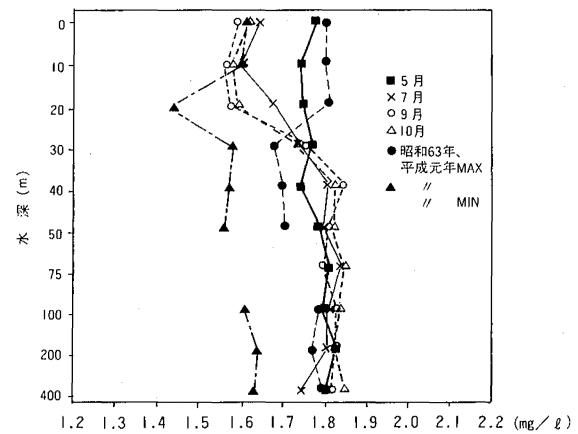


図12 湖心の Mg^{2+} 分布（平成3年）

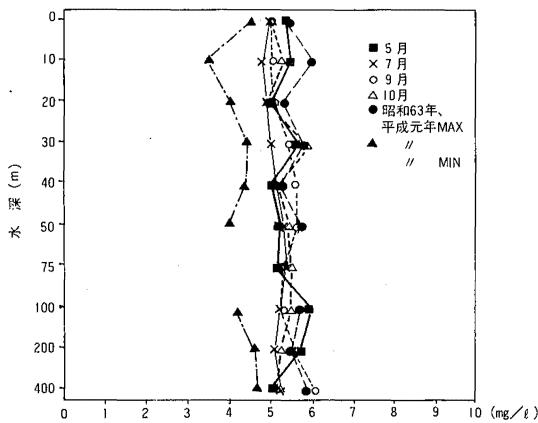


図10 湖心の Na^+ 分布（平成3年）

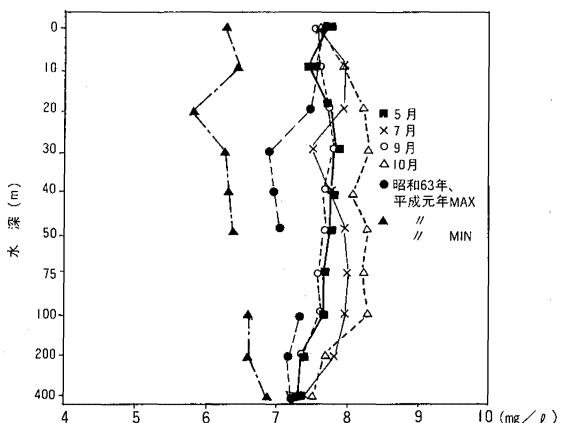


図13 湖心の Ca^{2+} 分布（平成3年）

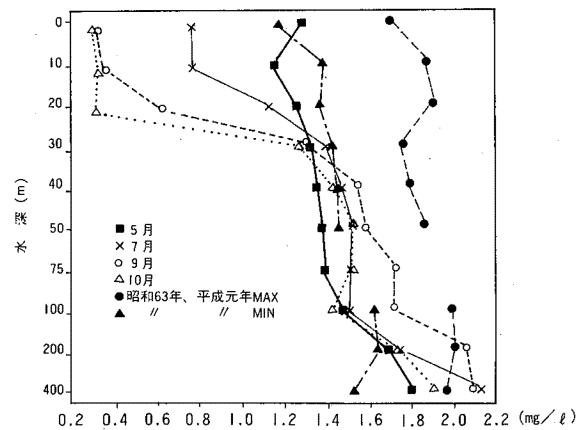


図14 湖心の Al^{3+} 分布(平成3年)

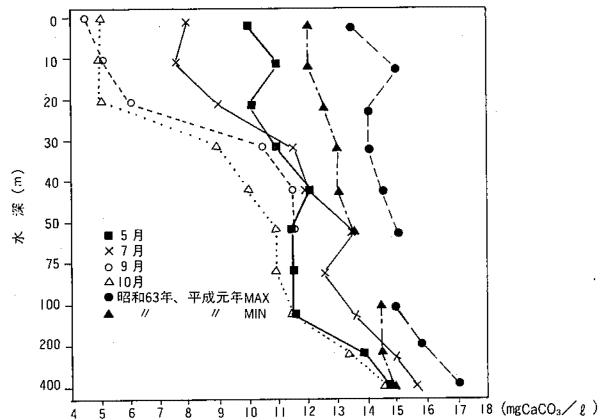


図17 湖心の8.4酸度分布(平成3年)

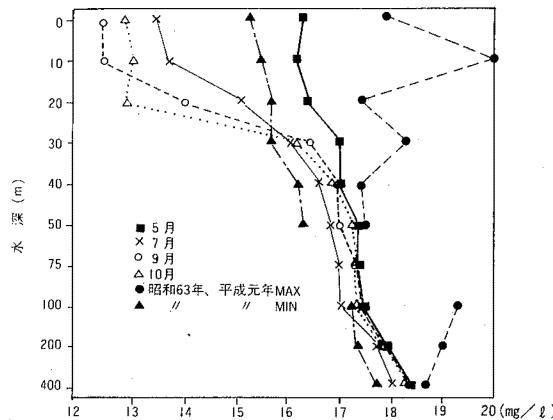


図15 湖心の Cl^- 分布(平成3年)

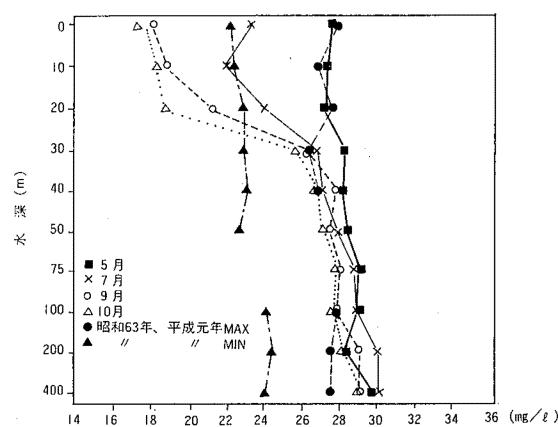


図16 湖心の SO_4^{2-} 分布(平成3年)

Al^{3+} 、 SO_4^{2-} 、8.4酸度は表層から20m層までは、春から秋にかけ徐々に濃度の減少がみられ、30m層以深では時期的な変動が小さく、垂直分布も一様で、深さとともに濃度の上昇がみられる。

中和処理施設稼働前に比較すると、表層から20m層までは Al^{3+} 、 SO_4^{2-} 、8.4酸度とも濃度が減少しており、30m層以深では SO_4^{2-} の濃度が若干高くなっているものの、概ね同様の濃度である。

3.7 化学的酸素要求量(COD)

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3年度の各調査地点での垂直分布の結果から、主に秋の表層から40m層まで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。

3.8 窒素、りん、クロロフィルa

2年間の調査結果から、アンモニア態窒素($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)の濃度は $<0.05 \text{ mg/l}$ 、亜硝酸態窒素($\text{NO}_2^- - \text{N}$)は $<0.01 \text{ mg/l}$ 、硝酸態窒素($\text{NO}_3^- - \text{N}$)は $0.05 \sim 0.17 \text{ mg/l}$ 、全窒素(T-N)は $0.06 \sim 0.30 \text{ mg/l}$ 、りん酸態りん($\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$)は $<0.003 \text{ mg/l}$ 、全りん(T-

P)は<0.003~0.008mg/l、クロロフィルa(表層の測定値)は<0.5~0.7 μ g/lの範囲で分布している。

中和処理施設稼働2年経過後のT-N、T-Pの値を、坂本⁴⁾のりんと窒素濃度による湖沼の栄養度をもとに分類すると、貧栄養湖に属し、中和処理施設稼働前の田沢湖の栄養度³⁾と変わりはない。また本県では湖沼への窒素、りんの類型あてはめをしていないが、環境基準に基づいて区分すると窒素はII類型、りんはI類型に区分される。

各調査地点での窒素、りんの垂直分布の結果から、特異な地点はみられない。湖心(平成2、3年度)のNO₃⁻-NおよびT-Nの各水深における平均濃度の分布を図18~19に示す。

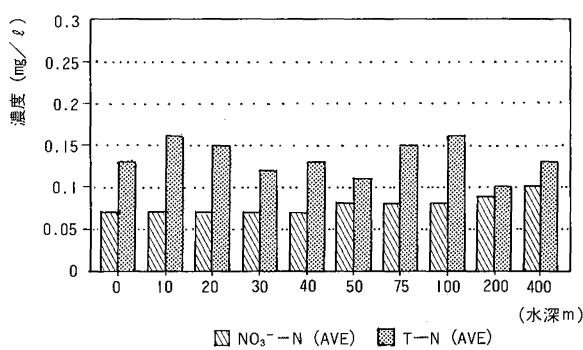


図18 湖心のNO₃⁻-N、T-N分布(平成2年)

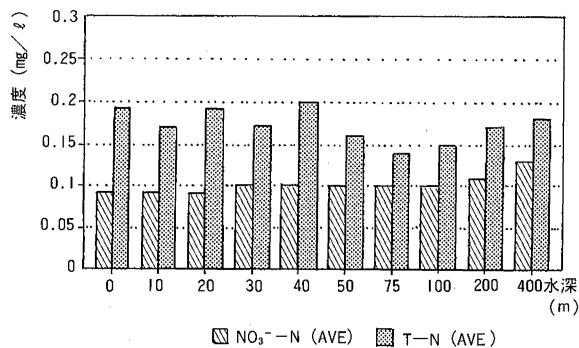


図19 湖心のNO₃⁻-N、T-N分布(平成3年)

す。NO₃⁻-Nについてみると、平成2、3年度とも深さとともに濃度が高くなっている。平成3年度の方が全体的に濃度が高い。T-Nについてみると、全体的に平成3年度が高い傾向にあるものの、深度による濃度変化に相関はみられない。

3.9 プランクトン

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ワムシ(*Brachionus rubens*)の発生が見られた³⁾が、平成2、3年度はプランクトンの発生はほとんどみられなかった。しかし、pH等の水質改善にともない、プランクトンの発生が予想されることから、今後も注意深く観察を続ける必要がある。

3.10 導水路の水質調査

田沢湖には前述したように、沢水以外の流入河川はなく、主なものは玉川導水路と先達川導水路である。これらの導水路の水質は直接田沢湖の水質に影響を与える。そこでこれらの水質について調査した。

玉川導水路のpHは4.85~6.55、導電率は79.9~136 μ s/cm、Na⁺は3.8~4.6mg/l、K⁺は0.5~0.8mg/l、Mg²⁺は1.1~1.5mg/l、Ca²⁺は6.9~12mg/l、Mn²⁺は<0.05~0.06mg/l、T-Feは<0.1~0.1mg/l、Al³⁺は0.2~0.8mg/l、Cl⁻は7.6~23mg/l、SO₄²⁻は12~40mg/l、8.4酸度は2.5~7.0mgCaCO₃/l、CODは<0.5~1.7mg/l、NH₄⁺-Nは<0.05mg/l、NO₂⁻-Nは<0.01mg/l、NO₃⁻-Nは<0.05~0.14mg/l、T-Nは0.13~0.30mg/l、PO₄³⁻-Pは<0.003~0.003mg/l、T-Pは<0.003~0.008mg/lとなっている。

一方、先達川導水路のpHは6.25~7.07、導電率は70.0~193 μ s/cm、Na⁺は4.1~10.5mg/l

ℓ 、 K^+ は0.6~1.1mg/ ℓ 、 Mg^{2+} は1.8~4.7mg/ ℓ 、 Ca^{2+} は7.5~17mg/ ℓ 、 Mn^{2+} は<0.05~0.07mg/ ℓ 、 $T-Fe$ は<0.1~0.1mg/ ℓ 、 Al^{3+} は0.05~3.1mg/ ℓ 、 Cl^- は4.7~12mg/ ℓ 、 SO_4^{2-} は11~62mg/ ℓ 、8.4酸度は2.0~7.0mg $CaCO_3/\ell$ 、CODは<0.5~3.5mg/ ℓ 、 NH_4^+ -Nは<0.05~0.07mg/ ℓ 、 NO_2^- -Nは<0.01mg/ ℓ 、 NO_3^- -Nは0.05~0.27mg/ ℓ 、 $T-N$ は0.15~0.29mg/ ℓ 、 PO_4^{3-} -Pは<0.003~0.004mg/ ℓ 、 $T-P$ は<0.003~0.010mg/ ℓ の範囲で分布している。

流入しているこれら導水路の水質は、今のところまず問題がないと考えられる。しかし、田沢湖の水のpHは、徐々に改善されてきている。それにともない今後は、流入する導水路による湖の富栄養化が懸念される。幸いにも湖畔の宿泊施設が多い春山地区の排水は、特別環境保全公共下水道の完成により、平成4年度から湖には流入しなくなったが、先達川導水路の上流部には温泉旅館街があり、また、今後田沢湖流域内に新たにリゾート開発の計画もある。したがって、これらの排水の浄化も今後必要であると考えられる。今後の田沢湖の富栄養化防止には、流入する導水路の水質をいかに清浄に保つことが出来るかにかかっているといつても過言ではない。

4 まとめ

玉川中和処理施設稼働後の平成2、3年度に、田沢湖の水質調査等を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 透明度は3.7~8.5m(年平均6.4m)、水色はNo.2~No.3の範囲にあり、湖面は概ね青色を呈している。
- (2) 表層水温は4月から9月頃にかけ上昇し、10月から下降している。7月から10月

にかけ水温躍層がみられる。水温の変動は上層部ほど大きく、200m層以深では非常に小さい。

- (3) pHは中和処理施設稼働後に表層から20m層まで、春から秋にかけ徐々に上昇する傾向がみられる。30m層以深では、400m層まで4.7前後である。

湖心の20m層までのpHは、平成2、3年には4.86~5.50になっている。今後30m層以深のpHの改善をはやめるためには、ばっさり等により水温躍層を取り除き、水の循環を行う必要がある。

- (4) Al^{3+} 、 SO_4^{2-} 、8.4酸度は、表層から20m層までは中和処理施設稼働後に春から秋にかけ濃度の減少がみられるが、30m層以深では中和処理施設稼働前とほとんどかわっておらず、深さとともに濃度の上昇がみられる。

- (5) DOは8.8~16.4mg/ ℓ と全層において豊富で、CODも<0.5~1.0mg/ ℓ の範囲で分布しており、環境基準値以内である。

- (6) 栄養塩類については、 $T-N$ が0.06~0.30mg/ ℓ 、 $T-P$ が<0.003~0.008mg/ ℓ 、クロロフィルa(表層)が<0.5~0.7 $\mu g/\ell$ の範囲で分布している。現在の田沢湖は、貧栄養湖に属している。また環境基準(本県では類型あてはめをしていない)に基づいて区分すると窒素はII類型、りんはI類型に区分される。

- (7) 湖水のpHの改善にともない、湖の富栄養化が懸念される。田沢湖の富栄養化を防止するためには、先達川導水路等の水質をいかに清浄に保つかにかかっている。

参考文献

- 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) 秋田魁新報(1992年8月14日, 9月9日)

3) 組谷 均ほか: 田沢湖の水質等について

—玉川酸性水中和処理施設稼働以前の水質

等— 秋田県環境技術センター年報, No.17,

120 (1989)

4) 「環境と微生物」, P.78, 共立出版株式会

社, 1979