

# 十和田湖の水質について

渡辺 寿 加藤 潤 片野 登\* 三上 一\*\* 高村典子\*\*\*

## 1.はじめに

十和田湖は、八甲田火山群の南、秋田県と青森県の県境に位置する二重式カルデラ湖である。湖は湖面海拔400m、湖面積61.06km<sup>2</sup>、最大水深327m、平均水深71.0m、湖体積4.19km<sup>3</sup>で、奥入瀬溪流の水源となっている。また、十和田湖は、十和田・八幡平国立公園の中にあつて風光明媚なことから、四季を問わず年間約300万人の観光客が訪れている。

十和田湖の水質調査については、公共用水域水質測定計画に基づき、青森県と秋田県が分担して行ってきた。1980代前半は、1.0mg/lの環境基準を上回ることもなかったCODが1987年から急激に上昇し、また、透明度が低下してきていることから、十和田湖における水質汚濁の進行が懸念され始めた<sup>1)</sup>(図1)。ここ3、4年は、CODの濃度は高く推移しているものの、透明度も高くなるという従来あまり見られなかった現象も起きている。

十和田湖の汚濁機構解明を含めた生態系機構解明を目的に、1998年より開始された「十和田湖の水質と水産の管理技術に関する基礎研究」の一環として、1999年5月～1999年11月に水質調査(8回)を行ったのでその結果を報告する。

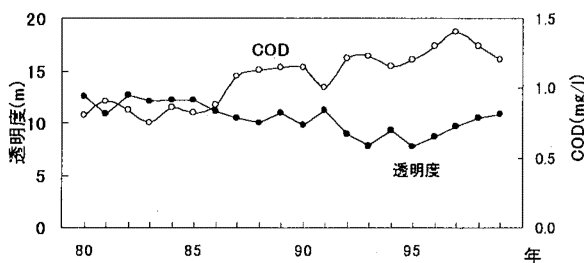


図1 十和田湖のCOD濃度と透明度の経年変化(平均値)

## 2.調査方法

湖心の8箇所(0m, 5m, 10m, 15m, 20m, 30m, 50m, 100m)において調査を実施した(図2)。調査項目および測定方法は表1のとおりである。

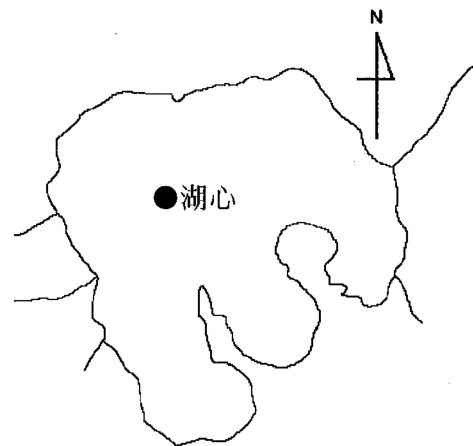


図2 十和田湖の調査地点

## 3.結果

### 3.1 気温及び降水量

十和田湖に秋田地方气象台での観測地点がないため、気温は鹿角、降水量は藤原地点でのデータ<sup>1)</sup>を利用した。十和田湖周辺の1999年の年平均値は9.8℃と1998年よりわずかに下回っているが、月平均気温については、6月から10月にかけて1984年～1998年までの過去15年間の平均気温を上回っている。(図3～図4)

降水量については、5、9、10、12月が1984年～1998年間の月平均値を上回っている。1月から3月まで欠測のため、年降水量は出ていないが、4月から12月までの降水量変化からみれば、ほぼ平均的な年と推測される(図5)。

\*秋田県立大学

\*\*青森県環境保健センター

\*\*\*国立環境研究所地域環境研究グループ

表1 水質測定項目および測定方法

| 項 目                | 測 定 方 法                           |
|--------------------|-----------------------------------|
| 水 温                | 水深水温計                             |
| 透明度                | 海洋観測指針 (1990) セッキー板               |
| pH                 | JIS K0102 (1998) ガラス電極法           |
| DO                 | JIS K0102 (1998) ウィンクラーアジ化ナトリウム変法 |
| BOD                | JIS K0102 (1998) ウィンクラーアジ化ナトリウム変法 |
| COD                | JIS K0102 (1998) 過マンガン酸カリウム法      |
| T-N                | 水質自動分析装置 (Auto Analyzer)          |
| DT-N               | Whatman GF/F によるろ過後, 水質自動分析装置     |
| NH <sub>4</sub> -N | 水質自動分析装置                          |
| NO <sub>2</sub> -N | 水質自動分析装置                          |
| NO <sub>3</sub> -N | 水質自動分析装置                          |
| T-P                | 水質自動分析装置                          |
| DT-P               | Whatman GF/F によるろ過後, 水質自動分析装置     |
| PO <sub>4</sub> -P | 水質自動分析装置                          |
| クロロフィルa            | Nuclepore フィルターで分画後, 液体クロマトグラフ    |

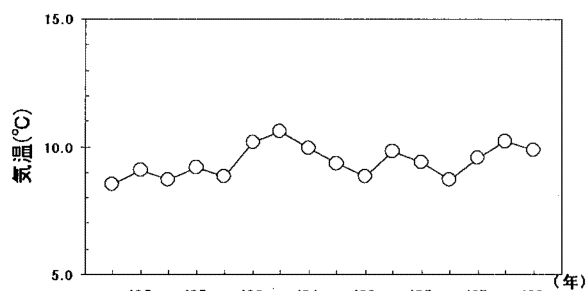


図3 平均気温の経年変化

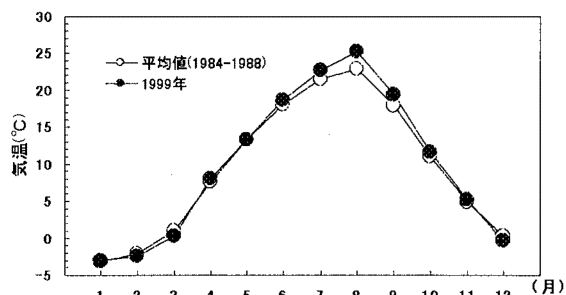


図4 平均気温の月変化

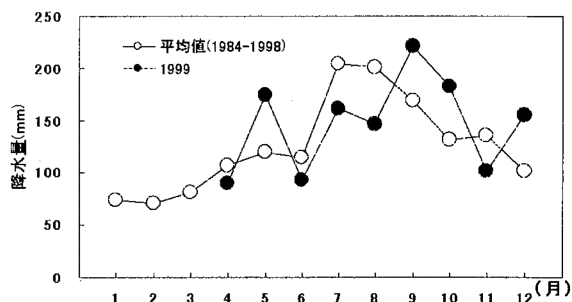


図5 降水量の月変化

### 3.2 水温

1999年5月から10月(5/11, 11/10は, 欠測)までの十和田湖湖心部の表層の水温は, 14.4~23.7°Cの範囲にあり, 8, 9月に高くなっている。また, 40m~50m層では大きな変動がなく, 50mでの水温は, 4.6~5.4°Cの範囲に

ある。

50m以深については, 測定できなかったが4.0°C前後でほとんど変動がないままで推移するものと思われる。水温躍層が, 6月~9月に10m~20m層で, 10月には20m~30m層の間で形成されている(図6)。

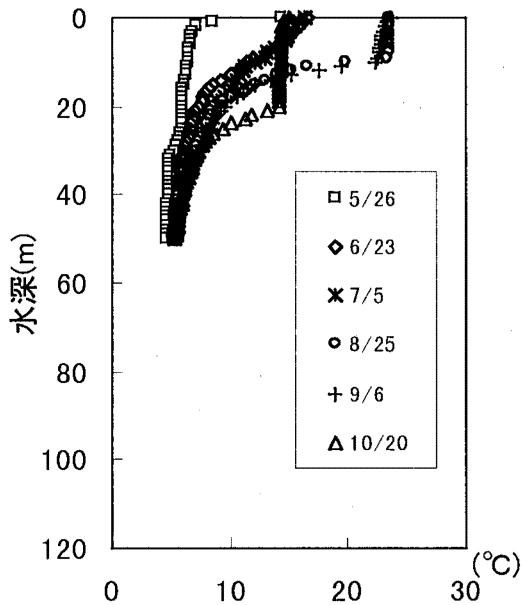


図6 十和田湖湖心の水温の垂直分布

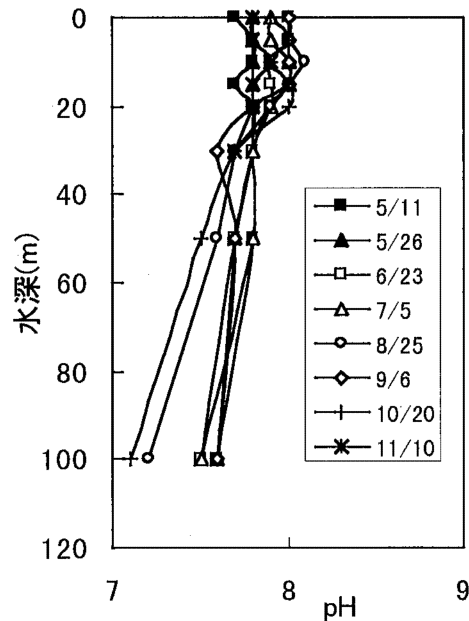


図7 十和田湖湖心のpHの垂直分布

### 3.3 pH

5月から11月までの湖心部でのpHは7.1～8.1の範囲にあり50m層までは大きな変動がみられない。100m層では、7.1～7.6の範囲で、pHの低下がわずかにみられ、特に8月、10月が7.1、7.2と低い状況にあった(図7)。

### 3.4 DO

5月から11月までの湖心部でのDOは8.0～12.9mg/lの範囲で分布し、100m層まで著しいDOの減少はみられなかった。月別では水温が低い5月が最も高く、その後水温の上昇に伴い、8、9月の表層～10m層にかけてDOの低下が若干みられ、10、11月には上層から下層まで10.0mg/l前後で推移しているが、8、10月には100m層で50m層よりわずかではあるが低下している(図8)。

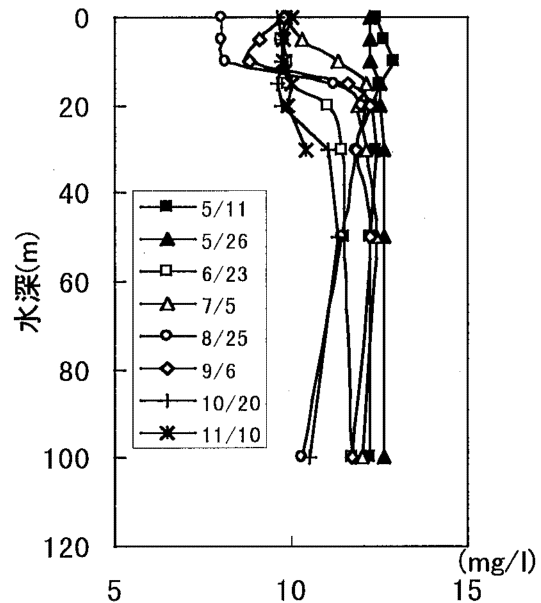


図8 十和田湖湖心のDOの垂直分布

### 3.5 クロロフィルa(Chl.a)

クロロフィルaの湖心部における垂直分布を図9に示す。濃度は0.1～1.9 $\mu$ g/lの範囲で極めて低い濃度であった。植物プランクトンの大きさを $<2\mu$ m、 $2\sim10\mu$ mおよび $>10\mu$ mの3型に区分し、それぞれのクロロフィルa量からその分布を推定した。その結果、5月中旬

は、全クロロフィルa濃度(T-Chla)が0.1～0.2 $\mu$ g/lと少ない。5月下旬から6月にかけてはクロロフィルaの増加がみられ、3サイズとも少ないものの表層から深層まで広く分布し、 $2\sim10\mu$ m、 $>10\mu$ m、 $<2\mu$ mの順で多くなっている。ただし、6月のピークを示した30m層での3サイズの濃度は、 $2\sim10\mu$ m、 $>10\mu$ m、 $<2$

$\mu\text{m}$ の順で低くなっている。

7月になると2~10 $\mu\text{m}$ のサイズの植物プランクトンが10~15m層で大幅に増加し、また、 $<2\mu\text{m}$ のサイズのものが20m層をピークに広範囲に増加している。 $>10\mu\text{m}$ のサイズのものについては増加がみられなかった。

8月から9月になるとクロロフィルaが大幅に減少し、50m層で $>10\mu\text{m}$ のサイズの植物プランクトンが増加していることを除けばいずれの植物プランクトンも減少している。

10月から11月には表層から20m層で、 $<2\mu\text{m}$ および2~10 $\mu\text{m}$ のサイズの植物プランクトンが再び増加し、特に $<2\mu\text{m}$ のものがクロロフィルa濃度に占める割合が高くなっている。30m層以深ではクロロフィルaは、低く推移している。

なお、 $>10\mu\text{m}$ のサイズのものは年間を通して少ない。

### 3.6 COD, BOD

湖心部におけるCODおよびBODの垂直分布を図10に示す。

CODの濃度は0.6~2.1mg/lの範囲で分布し、表層から100m層間で大きな差はみられない。季節的には、5月下旬、7、9月に濃度がやや高くなる傾向を示し、表層から20m層で若干の変動がみられる。また、CODと溶存態COD(DCOD)の差は、5月下旬、7月、9月でやや大きく、それ以外の月は小さく、CODと同様表層から100m層間での差はみられない。

BODの濃度は0.1~0.9mg/lの範囲にあり、7月に最も濃度が高く、5m~20m層間で濃度に変動する月が多くなっている。

### 3.7 窒素

湖心部における全窒素(T-N)の垂直分布を図11に示す。

T-N濃度は40.9~164.5 $\mu\text{g/l}$ の範囲にあり、7月が全層平均で121.0 $\mu\text{g/l}$ と最も高く、同月は各層とも低くても100.0 $\mu\text{g/l}$ 前後で推移している。5月下旬から11月までは、5~20m層付近で濃度が高くなる傾向がみられ、これとあわせ7月から10月までは50m層以深でも濃度が高くなっている。130 $\mu\text{g/l}$ を越える高い濃度は、5月下旬の20m層、7月の5、50m層、8

月の15m層、11月の15m層でそれぞれ検出されている。

T-Nと溶存態T-N(DT-N)の差は、全般に5~20m層間で大きくなる傾向がみられるが、5月下旬の50~100m層でもその傾向がみられる。

アンモニア態窒素( $\text{NH}_4\text{-N}$ )の濃度は、10月~11月を除いては上層から下層まで分布しているが、最大でも25.0 $\mu\text{g/l}$ と全般に低い状況にある。

硝酸態窒素・亜硝酸態窒素( $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ )は、5月~7月にかけて比較的低い濃度で上層から下層まで分布したが、8月から10月は100m層で濃度が高くなる傾向がみられ、この時期の濃度は57.0~80.9 $\mu\text{g/l}$ と高く、硝酸態窒素・亜硝酸態窒素が窒素の大半を占めている。

### 3.8 リン

湖心部における全リン(T-P)の垂直分布を図12に示す。

T-P濃度は、3.5~11.1 $\mu\text{g/l}$ の範囲にあり、5月下旬から11月までは5~20m層付近で濃度が高くなる傾向がみられるほか8月から10月までは100m層でも濃度が上昇する傾向がみられ、特に8、10月での濃度の上昇が著しい。

T-Pと溶存態T-P(DT-P)の差は、全般に5~20m層間で大きくなる傾向がみられ、特に15m層付近でその傾向が著しい。

リン酸態リン( $\text{PO}_4\text{-P}$ )は、硝酸態窒素・亜硝酸態窒素と同様、5月~7月にかけて比較的低い濃度で上層から下層まで分布したが、8月から10月は100m層で濃度が高くなる傾向がみられ、特に8、10月の濃度は6.1 $\mu\text{g/l}$ と非常に高くなっている。

### 3.9 透明度

透明度の結果を図13に示す。

湖心部における透明度は、5月から9月までは、10m前後で推移しているが、10月から11月にかけては、7mまで低下している。

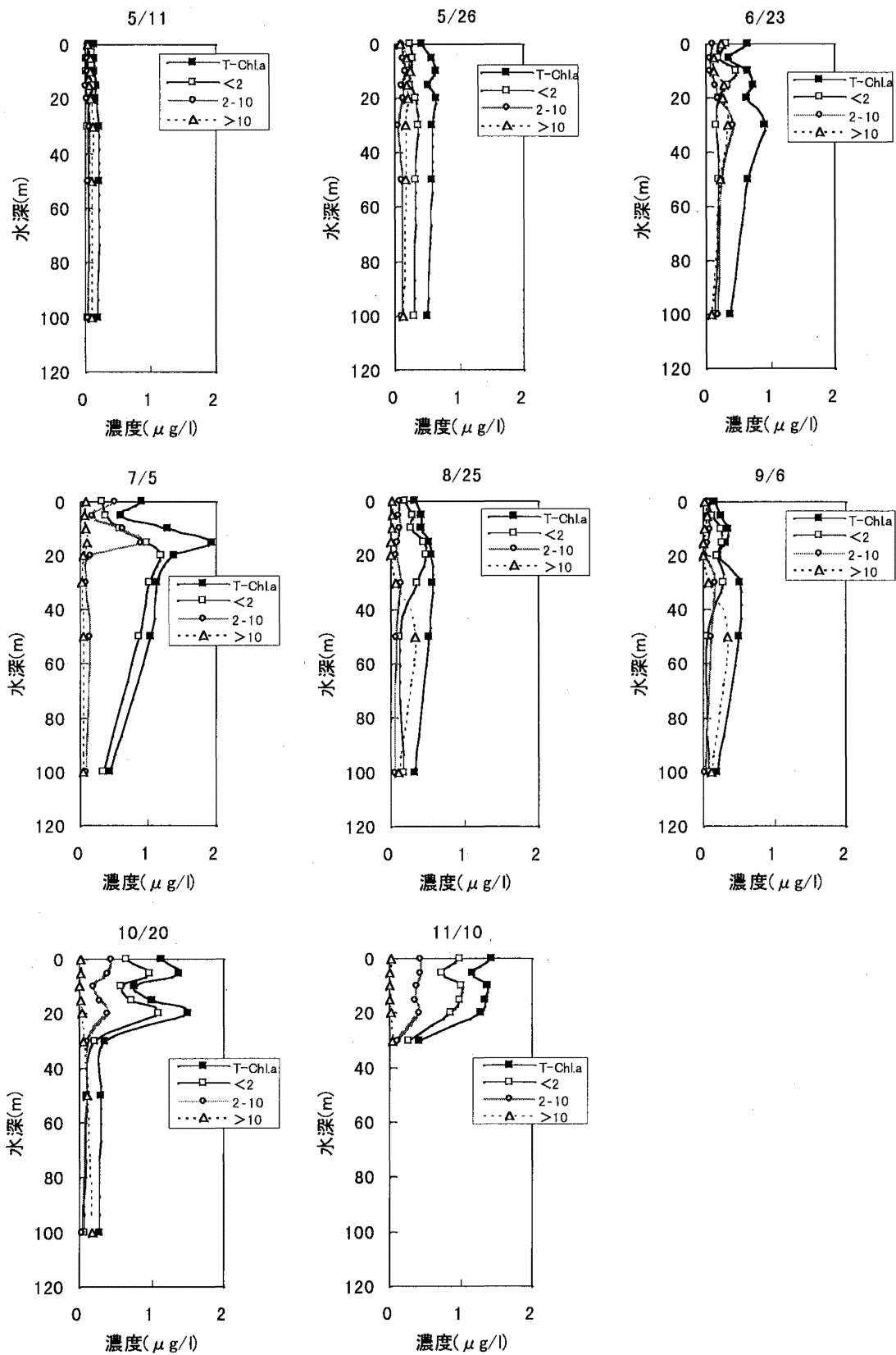


図9 十和田湖湖心のクロロフィルaの垂直分布

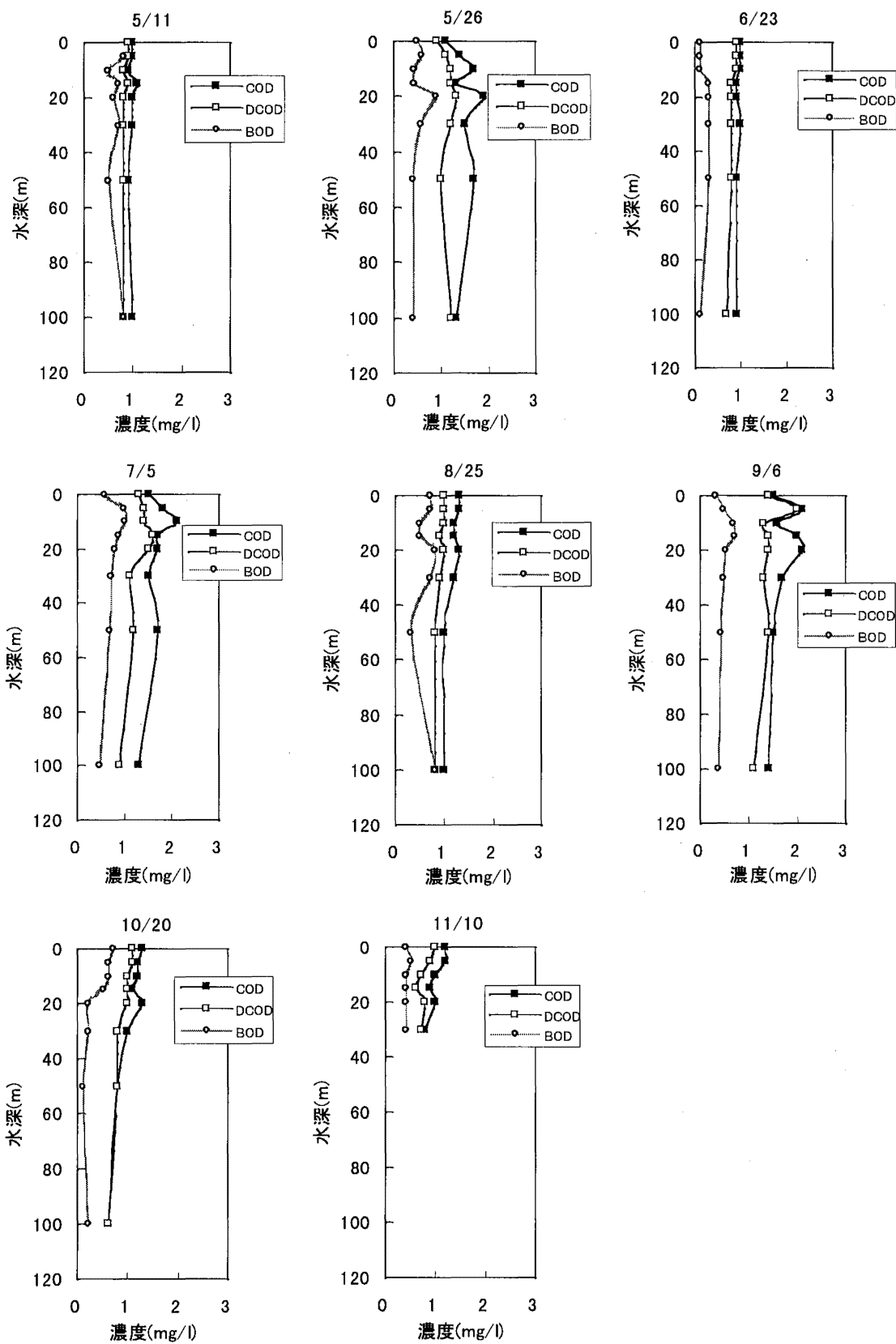


図10 十和田湖湖心のCOD, BODの垂直分布

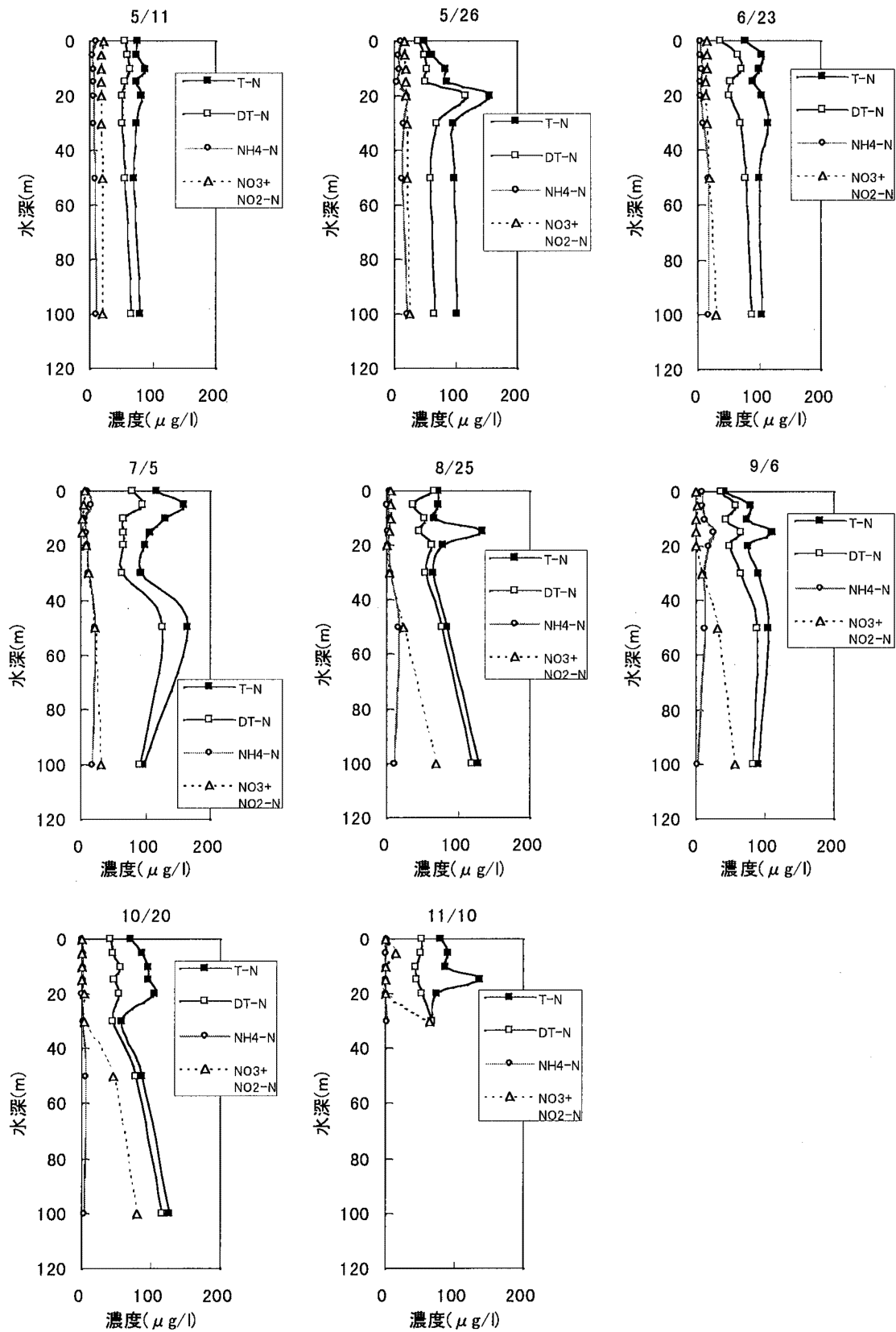


図11 十和田湖湖心の窒素の垂直分布

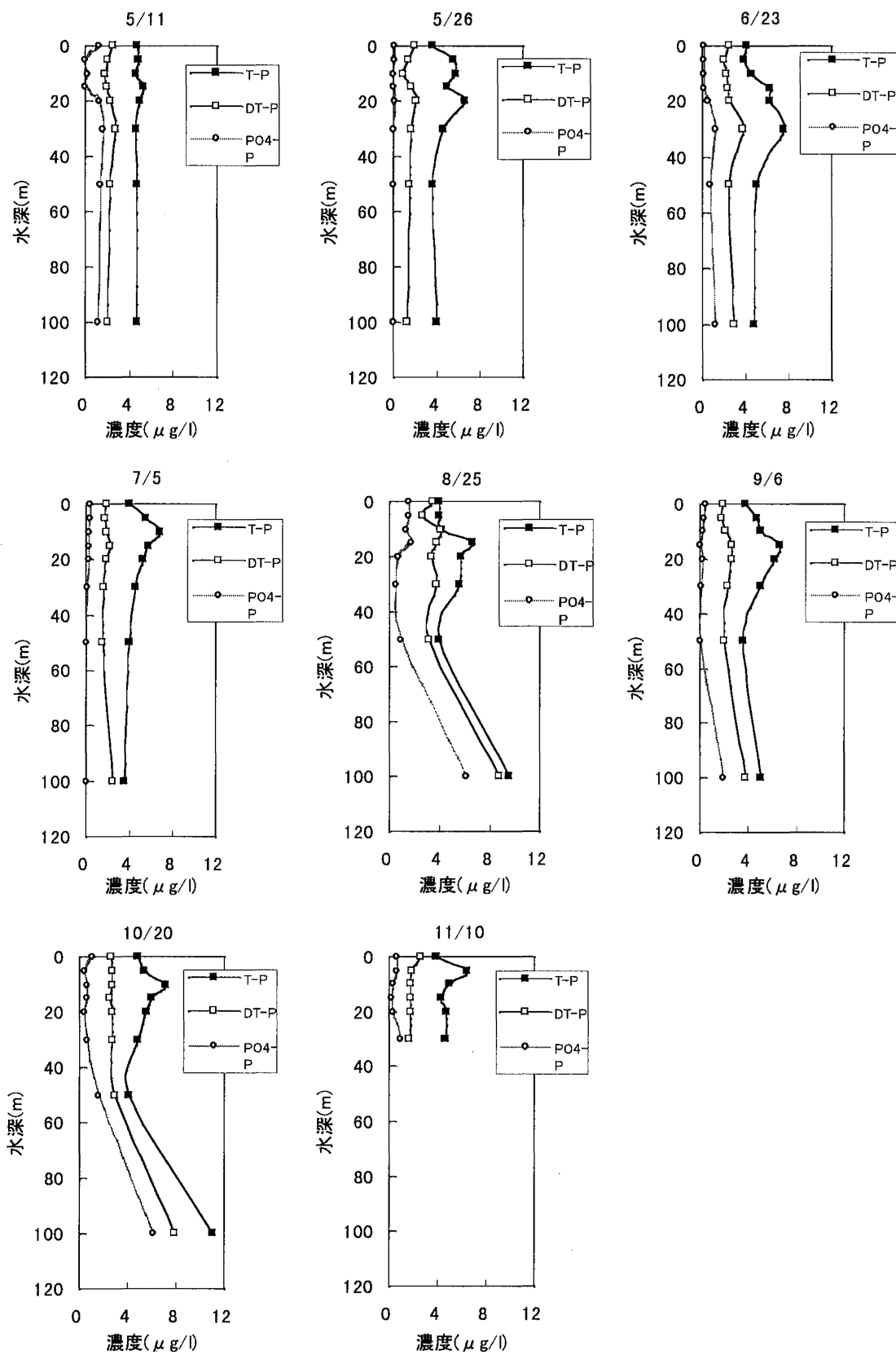


図12 十和田湖湖心のリンの垂直分布

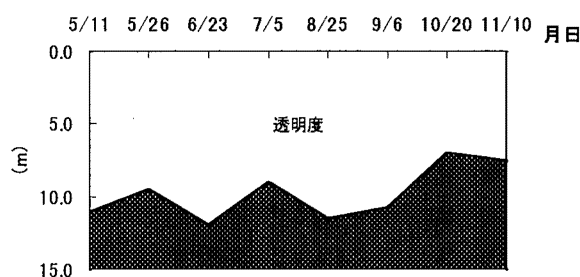


図13 十和田湖の透明度

#### 4. 考察

図14および図15は、1999年および1998年におけるクロロフィルa濃度の全層平均値の月別変化を表したものである。

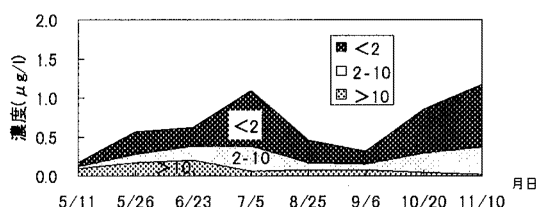


図14 十和田湖の平均クロロフィルa濃度(1999)

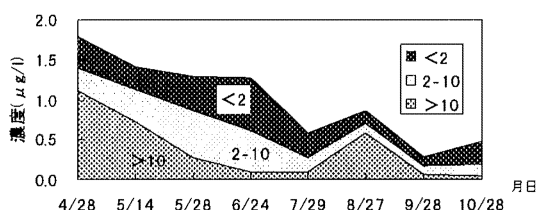


図15 十和田湖の平均クロロフィルa濃度(1998)

クロロフィルa濃度は1998年と比較すると、全般にわたって減少しており、1998年の4, 5, 8月にみられた $>10\mu\text{m}$ サイズの植物プランクトンは、1999年は5, 6月のわずかな増加傾向を除きほぼ一定の低い濃度で推移している。また1998年の調査で、4~7月まで分布していた $<2\mu\text{m}$ ,  $2\sim10\mu\text{m}$ サイズの植物プランクトンについては、7, 10月に増加する傾向にあり、7月の全クロロフィルa濃度は $<2\mu\text{m}$ サイズのものが大半を占めている。

1998年の調査結果<sup>3)</sup>では、透明度とクロロフィルa濃度との間に何らかの相互関係があると推測されていることから、1998年~1999年のデータについて検討を行った。

透明度とクロロフィルa濃度( $<2\mu\text{m}$ ,  $2\sim$

$10\mu\text{m}$ ,  $>10\mu\text{m}$ , T-Chla)との相関係数を図16~17に示す。なお、クロロフィルa濃度のデータについては、透明度に影響があると予測される表層から15mまでの累積値と比較した。1999年は、全クロロフィルa濃度、 $<2\mu\text{m}$ および $2\sim10\mu\text{m}$ で相関が良く、いずれも負の相関を示しており、特に表層から5m間での相関が高くなっている。

なお、1998年は $2\sim10\mu\text{m}$ での負の良い相関関係がみられた。

検討したデータが少ないが、十和田湖の透明度の変化は、表層から5m層間の $2\sim10\mu\text{m}$ サイズの植物プランクトン濃度が、影響しているものと推測される。

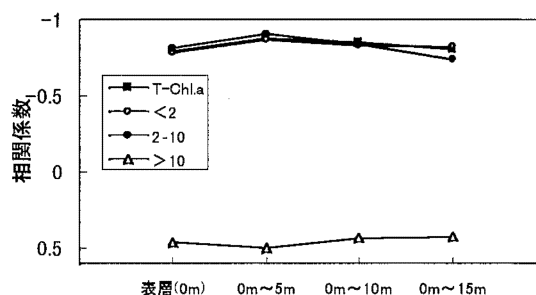


図16 透明度とクロロフィルa濃度との相関係数(1999)

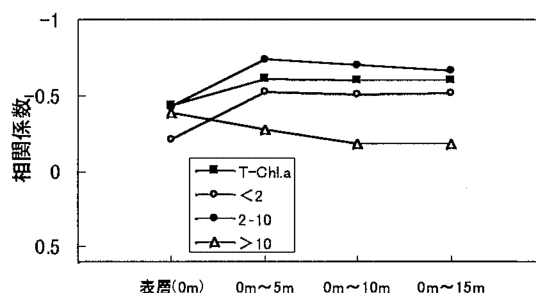


図17 透明度とクロロフィルa濃度との相関係数(1998)

また、植物プランクトンの増減と栄養塩については、1998年と同様に明確な関係がみいだせなかった。

CODがどのような物質に対応しているかをみるために、BOD, T-N, T-P, 全クロロフィルa濃度,  $<2\mu\text{m}$ ,  $2\sim10\mu\text{m}$ ,  $>10\mu\text{m}$ サイズの植物プランクトンとの相関係数の推移を図18に示した。

これらの項目のうち比較的良い相関関係が認められたのはBODと $<2\mu\text{m}$ サイズの植物プランクトンで、BODは6月を除いて正の相関がみられ、 $<2\mu\text{m}$ サイズの植物プランクトンは、6

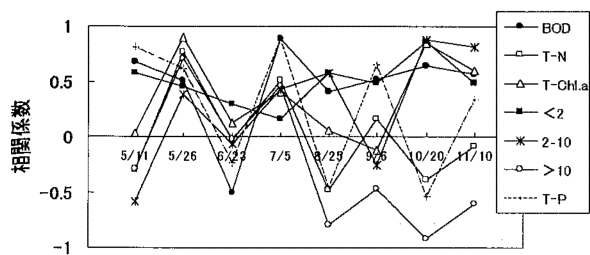


図18 CODとの相関係数

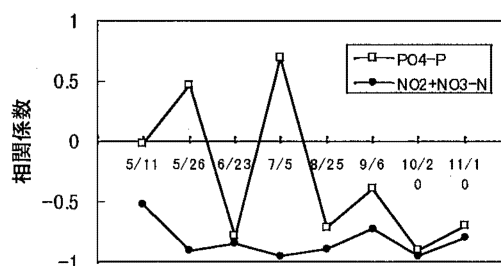


図19 pHとの相関係数

～7月を除き正の良い相関がみられた。なお、他の項目については、相関が良い時期もあるが一定していない。

CODはBODや $<2\mu\text{m}$ サイズの植物プランクトンのように時期的に良い相関がみられるものもあるが、これらをはじめとする水質環境要因が複雑に関係して変化していることも考えられ、今後の調査においては、あらたな視点での検討も必要と考えられる。

窒素およびリンについては1998年と同様、8～10月に100m層で硝酸態窒素・亜硝酸態窒素( $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ )およびリン酸態リン濃度( $\text{PO}_4\text{-P}$ )の増大がみられる。この時期の100m層では、pHの低下が認められることから、pHと $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ との相関をみるために相関係数の推移を図19に示した。

pHと $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ とは、5月中旬を除いて非常に良い負の相関がみられる。また、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の関係については、6月と8～10月に負の相関がみられるが、時期的な変動が大きく一定していない。8～10月の期間についてはpHと $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ はともに負の相関がみられ、特に $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ と良い相関を示している。また、こ

の時期の100m層のD0が50m層よりわずかではあるが低下している。今回の調査では、これまでの調査と同様な結果が得られたが、100m層でのpHの低下については、これまでの調査で硝化作用による硝酸態濃度の増加と有機物の分解に伴う二酸化炭素の増加によるものと推測されている<sup>4)</sup>。なお、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の増加については調査年により傾向が必ずしも一定しておらず、今後その影響要因を明らかにするために調査の継続が必要である。

#### 参考文献

- 1) 片野登, 加藤潤, 高橋佐紀子: 十和田湖の水質について, 秋田県環境技術センター年報, 20, 123, 1992
- 2) 秋田地方気象台: 秋田県気象月報
- 3) 片野登, 加藤潤, 三上一, 高村典子: 十和田湖の水質(1998年), 国立環境研究所研究報告, 146, 110-116, 1999
- 4) 青森県環境保健センター: 平成7～9年度十和田湖水質汚濁機構解明調査報告書, 1997