

湖沼底層における貧酸素水塊の形成

The Formation of Poor Dissolved Oxygen Water in the Benthic Layer of Lake

三木 正信 東川麻希子 中野 啓三 藤田 淳二
 Masanobu MIKI Makiko HIGASIKAWA Keizou NAKANO Junji FUJITA

はじめに

閉鎖性海域における貧酸素水塊の形成に関する研究報告はこれまですでに数多くなされているが^{1)~2)}、湖沼における貧酸素水塊の形成に関する報告は少ない。調査対象とした府中湖は綾川の下流をせき止めて造られた総貯水量 850 万³⁾ m³、湛水面積 121 ha の細長いダム湖であり、これまでも水質調査結果が報告されている^{3)~4)}。今回、府中湖中央における平成 2 年度から平成 5 年度までの 4 年間の水質調査結果をもとに貧酸素水塊の形成状況、貧酸素水塊の形成によって生じる栄養塩の変化等を解析したところ、若干の知見を得たので報告する。

調査方法

1. 調査期間

平成 2 年 4 月～平成 6 年 3 月（1 回/月実施）

2. 調査地点及び調査部位

調査地点を図 1 に示す。調査対象の府中湖は総貯

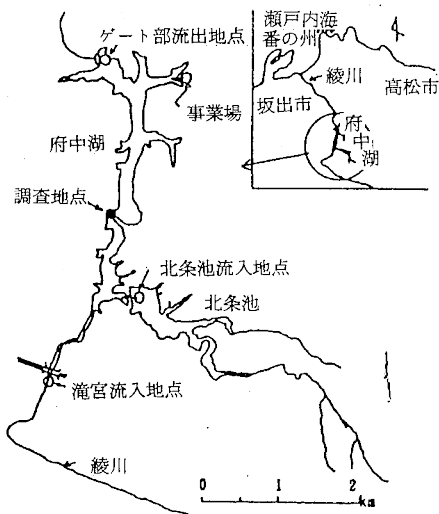


図 1 調査地点図

水量 850 万³⁾ m³、湛水面積 121 ha の細長いダム湖である。府中湖中央（ダム放流口から 2 km 上流、水深約 11~12m）において表層水（水面下 0.5 m）、中層水（水深/2 m）及び底層水（底上 1 m）を採水した。

3. 調査項目及び測定方法

調査項目及び測定方法は表 1 に示すとおりである。なお、* 印の調査項目は偶数月のみ実施し、それ以外の調査項目は毎月実施した。

表 1 調査項目及び測定方法

調査項目	測定方法
水温	サーミスター温度計①
pH	ガラス電極法①
DO	ウィンクラー・アジ化ナトリウム変法①
BOD	①
COD	酸性過マンガン酸カリウム法①
透明度	セッキーマ板法①
T-N*	オートクレープ・ペルオキシ二硫酸カリウム分解法で分解後、銅カドミウムカラム還元法による②
NH ₄ -N*	インドフェノール青吸光光度法① (TECHNICON Auto Analyzer II)
NO ₂ -N*	ナフチルエチレンジアミン吸光光度法 (TECHNICON Auto Analyzer II)
NO ₃ -N*	銅カドミウムカラム還元法 (TECHNICON Auto Analyzer II) ①
T-P*	オートクレープ・ペルオキシ二硫酸カリウム分解法で分解後、モリブデン青吸光光度法による②
PO ₄ -P*	モリブデン青吸光光度法 (TECHNICON Auto Analyzer II) ①
Chl-a*	蛍光光度法③

(注) ① JIS KO102
 ② 環境庁告示
 ③ 海洋観測指針法

調査結果及び考察

1. 成層の形成状況

平成2年度から5年度までの4年間の表層、中層及び底層の水温の変動を図2に示す。各年度とも4月頃から表層と底層に水温差がみられ始め、気温の上昇に伴い9月頃まで安定した成層状態が継続していた。10月に入り水温が低下すると表層と底層の水温差は縮小し、さらに全層ほぼ同じ水温となり成層が崩壊していた。以後、次の春先まで成層は形成されていない。これらのことから、府中湖中央の水深10m程度の浅い地点においても成層は毎年ほぼ同じサイクルで形成されていることがわかった。

2. 貧酸素化状況

平成2年度から平成5年度までの4年間の表層、中層及び底層のDO濃度の変動を図3に示す。成層が形成されている月は表層と底層のDO濃度差が大きかった。表層は年間を通じてDO濃度が高く過飽和となっていたが、成層は成層形成期には低下しており、貧酸素水塊の形成が認められた。特に、平成

2年7月に1 mg/l、8月に0.3 mg/l、9月に0.7 mg/l、平成4年6月に1 mg/l、平成5年5月に0.8 mg/l、6月に0.5 mg/lとDO濃度が1 mg/lとなり、ほぼ無酸素状態であった。成層の崩壊後は底層のDO濃度は表層と同程度まで回復していた。

また、表層と底層との水温差と底層のDO濃度の関係を図4に示す。表層と底層の水温差が大きい月の底層のDO濃度は極めて低値を示している。このことから、表層と底層の水温差が大きいこと、すなわち成層が強いことが貧酸素水塊の形成の重要なファクターになっていると考えられる。

今回の調査結果から府中湖中央のような水深10m程度の比較的浅い地点においても閉鎖性海域で観測された貧酸素化現象が毎年同じほぼサイクルで起こることがわかった。

3. 水質の状況

平成2年度から平成5年度までの4年間の表層、中層及び底層の水質の変動を図5～図11に示す。

透明度の変動を図5に示す。海域と異なり湖沼は

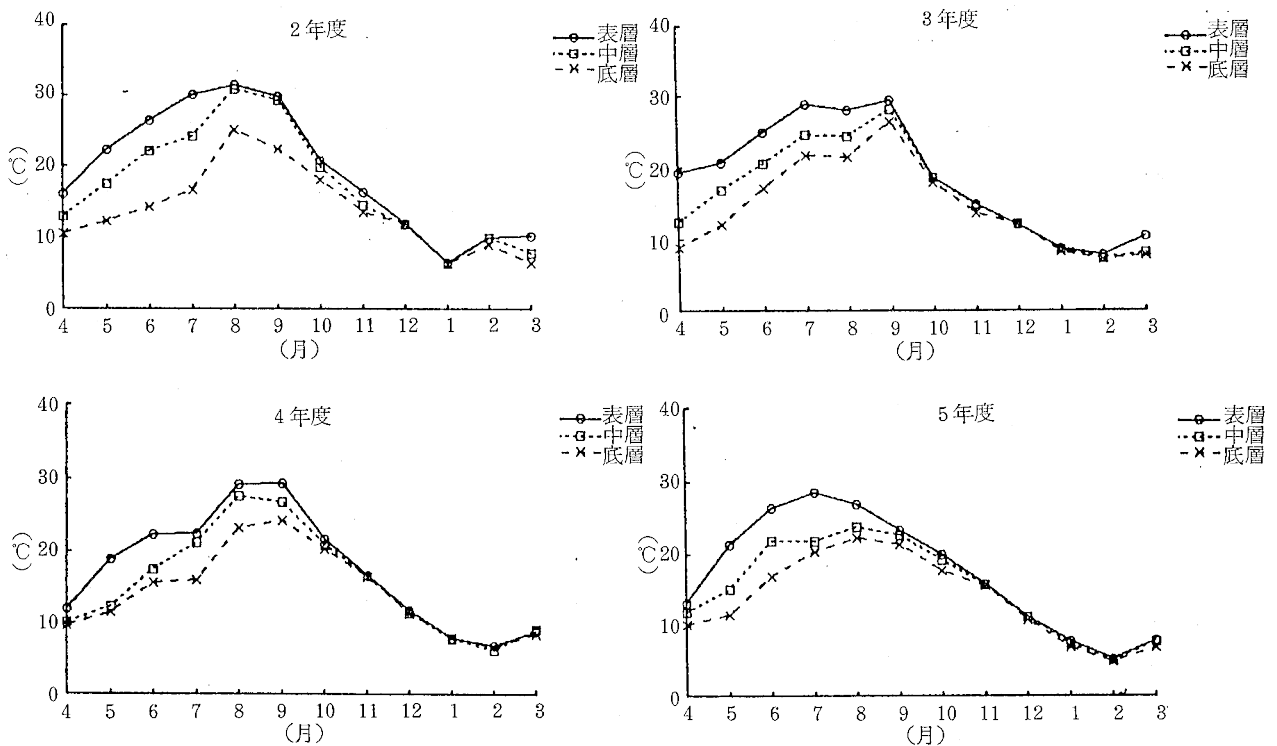


図2 表層、中層及び底層の水温の変動

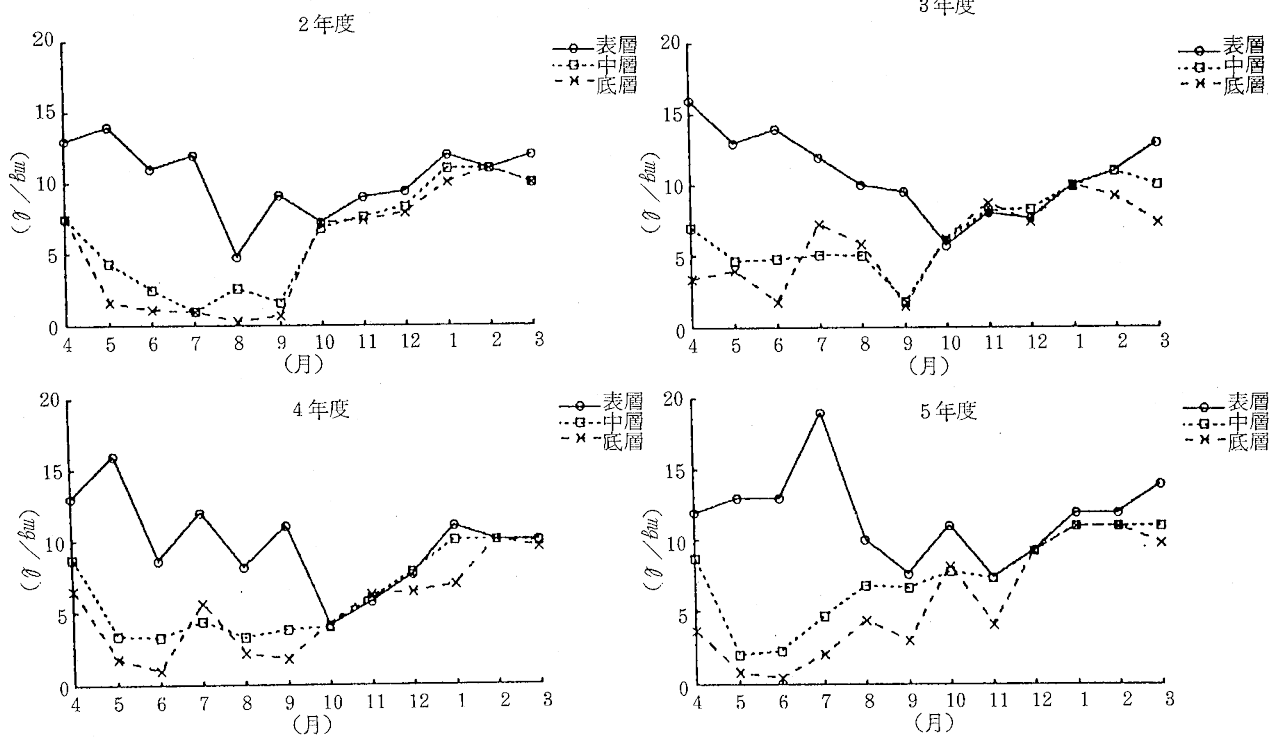


図3 表層、中層及び底層のDO濃度の変動

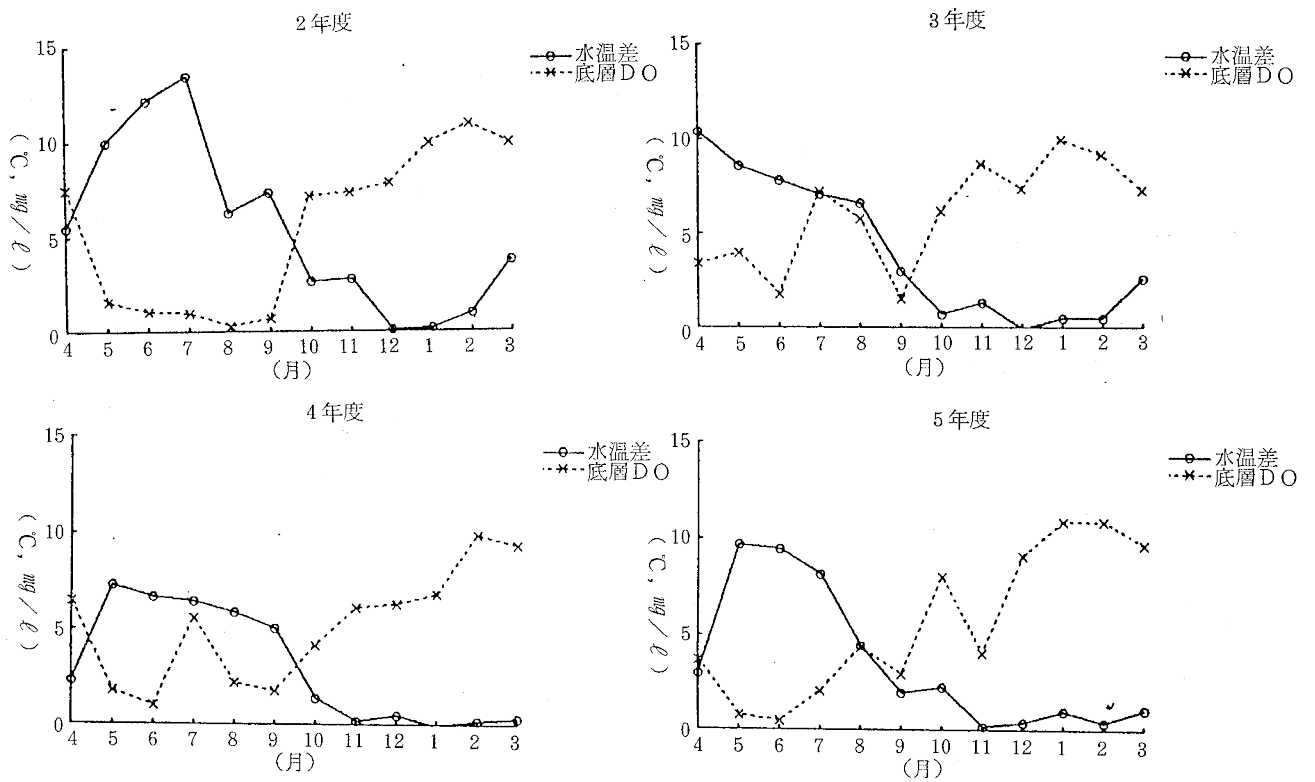


図4 表層と底層の水温度差及び底層DO濃度の変動

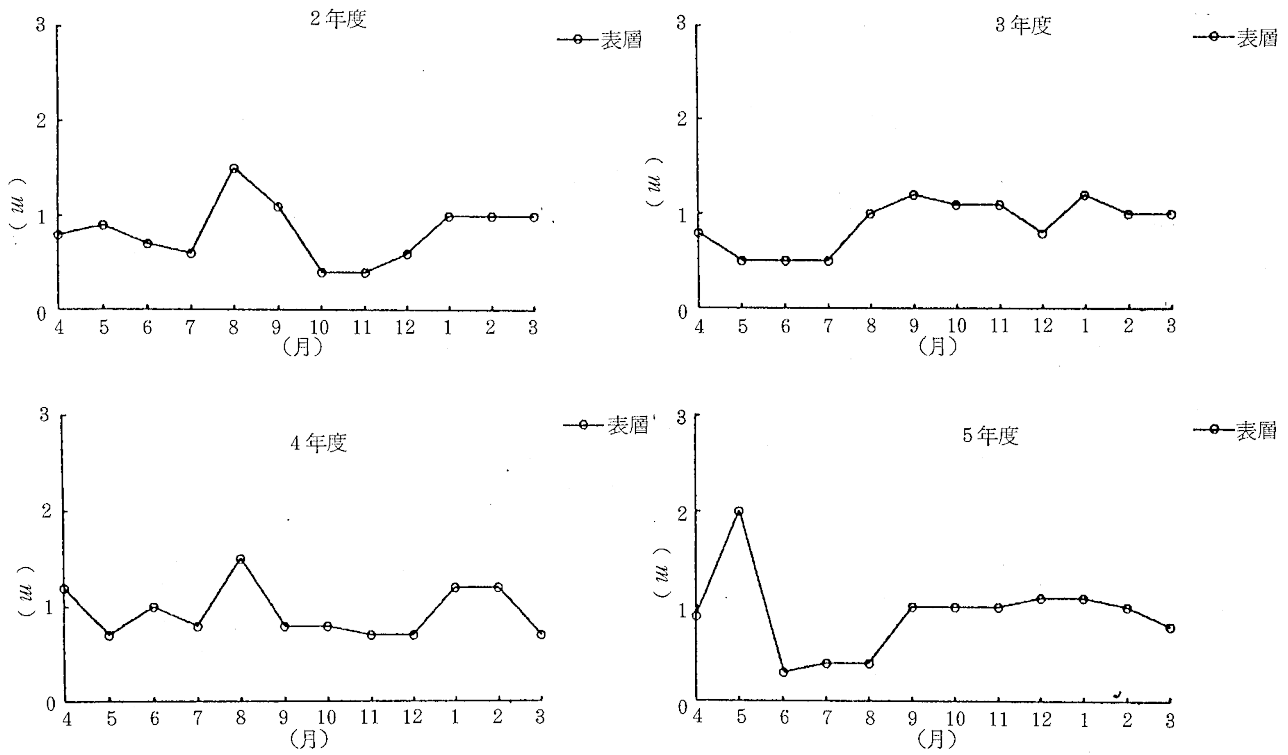


図5 透明度の変動

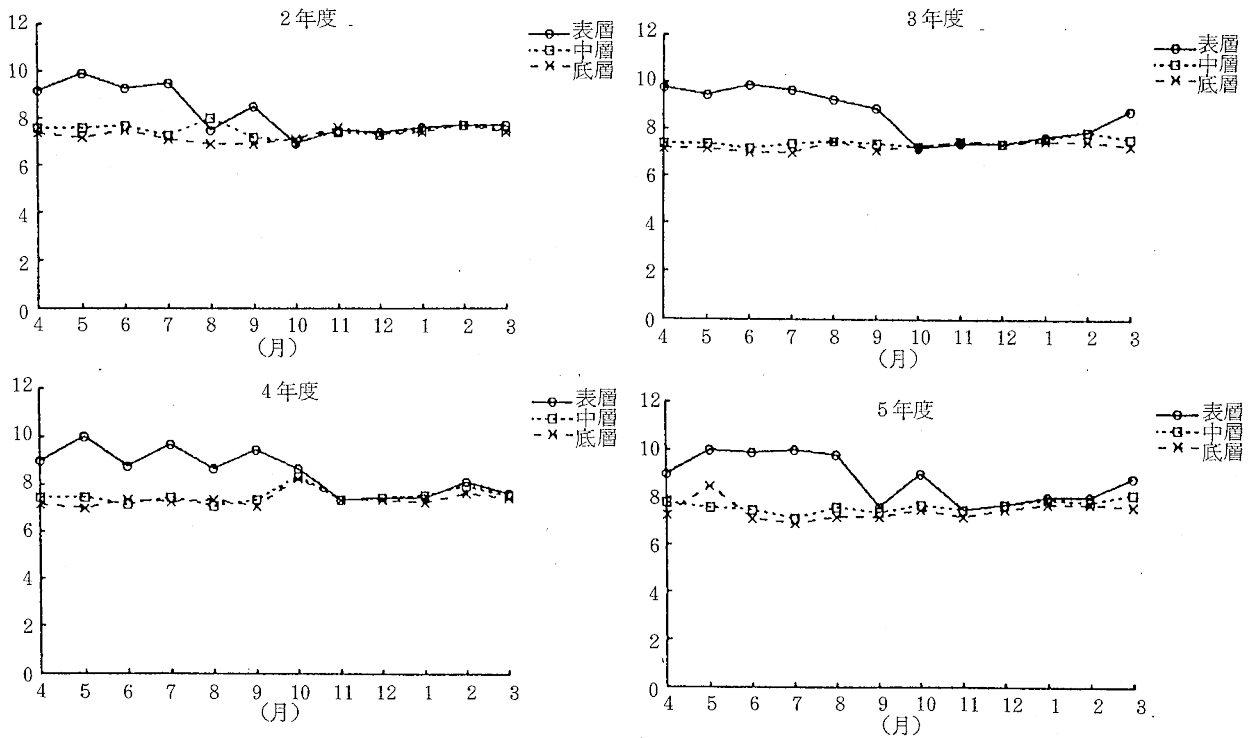


図6 表層、中層及び底層の pH の変動

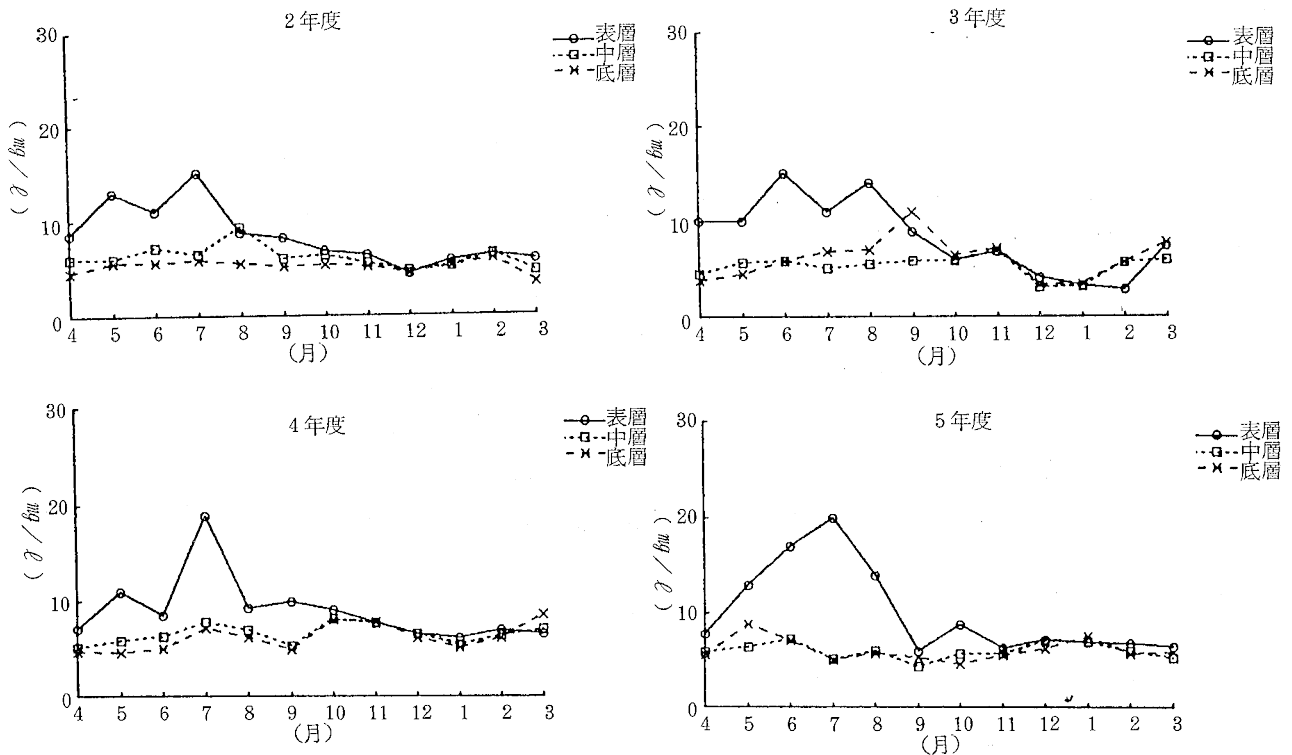


図7 表層、中層及び底層のCODの変動

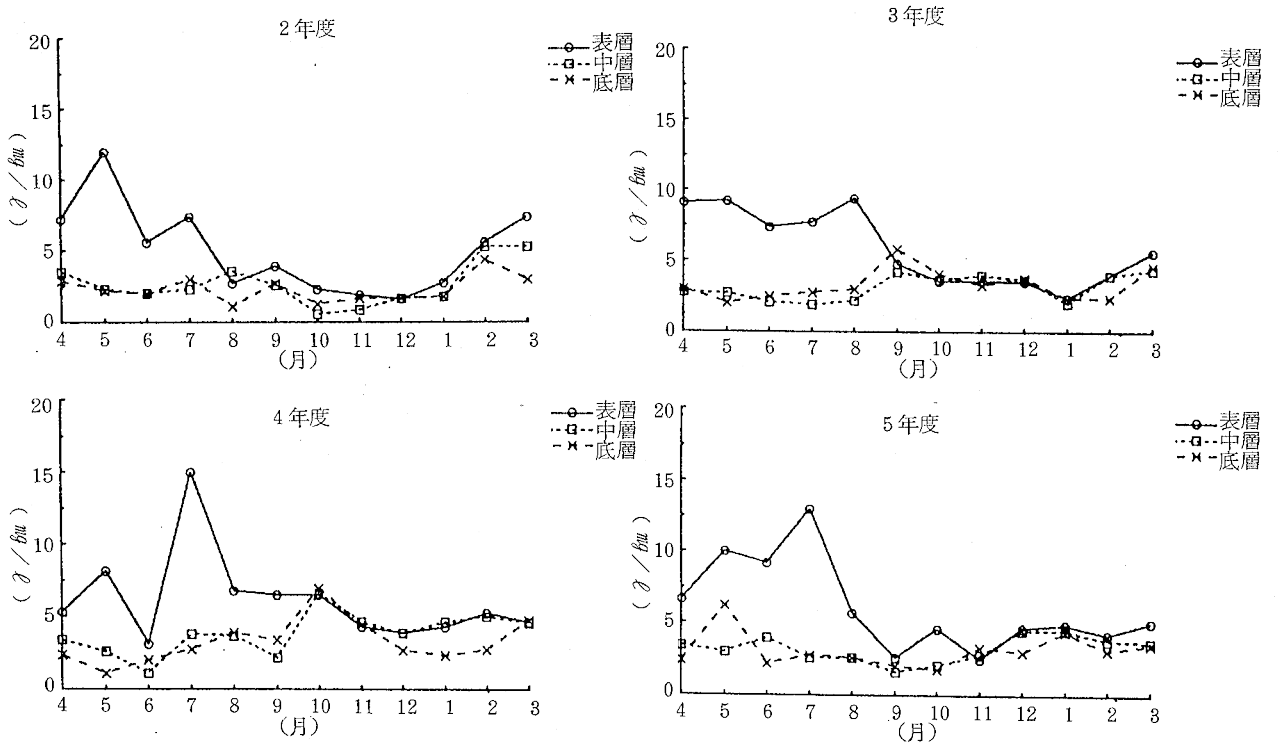


図8 表層、中層及び底層のBODの変動

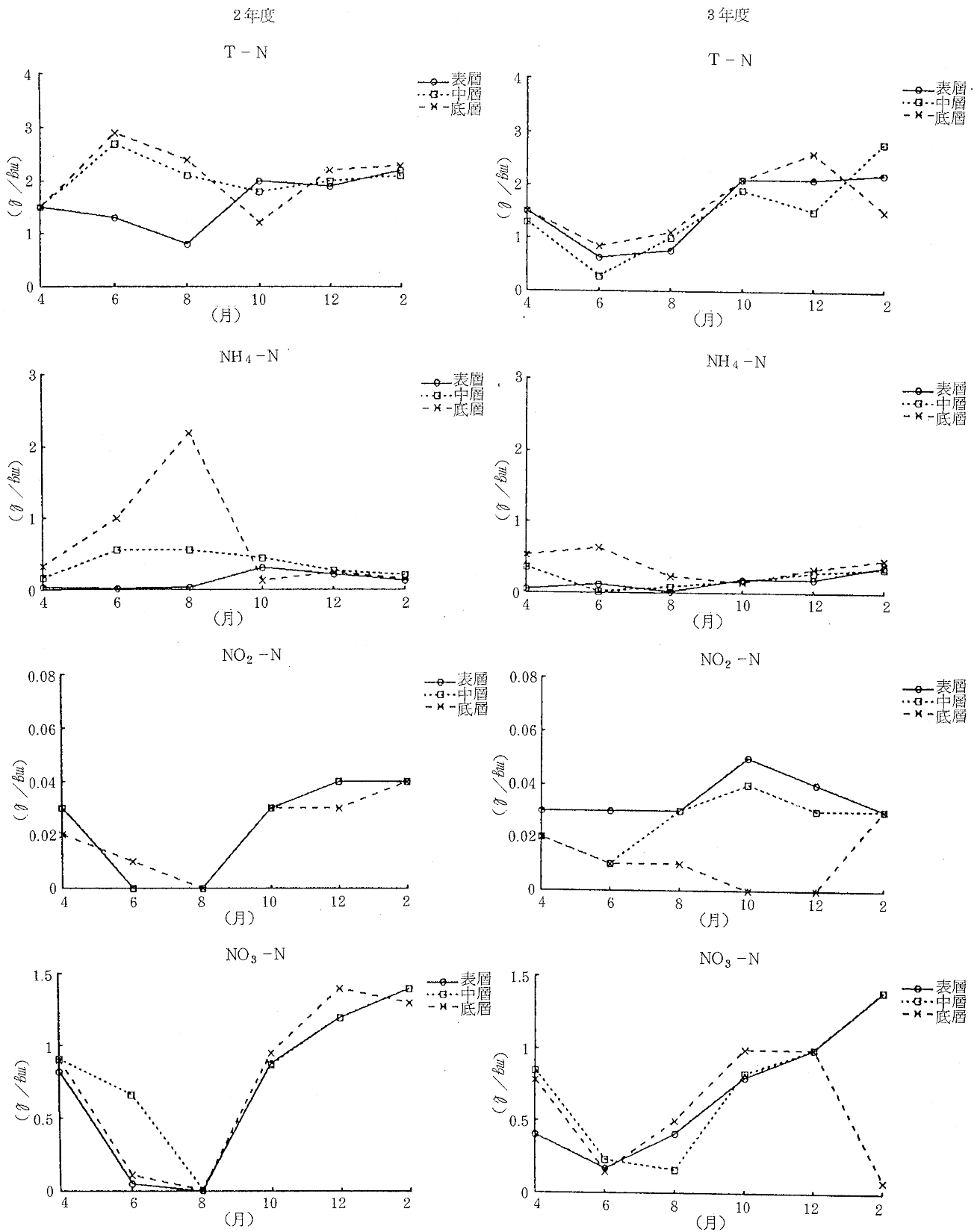


図9 表層、中層及び底層のNの変動(1)

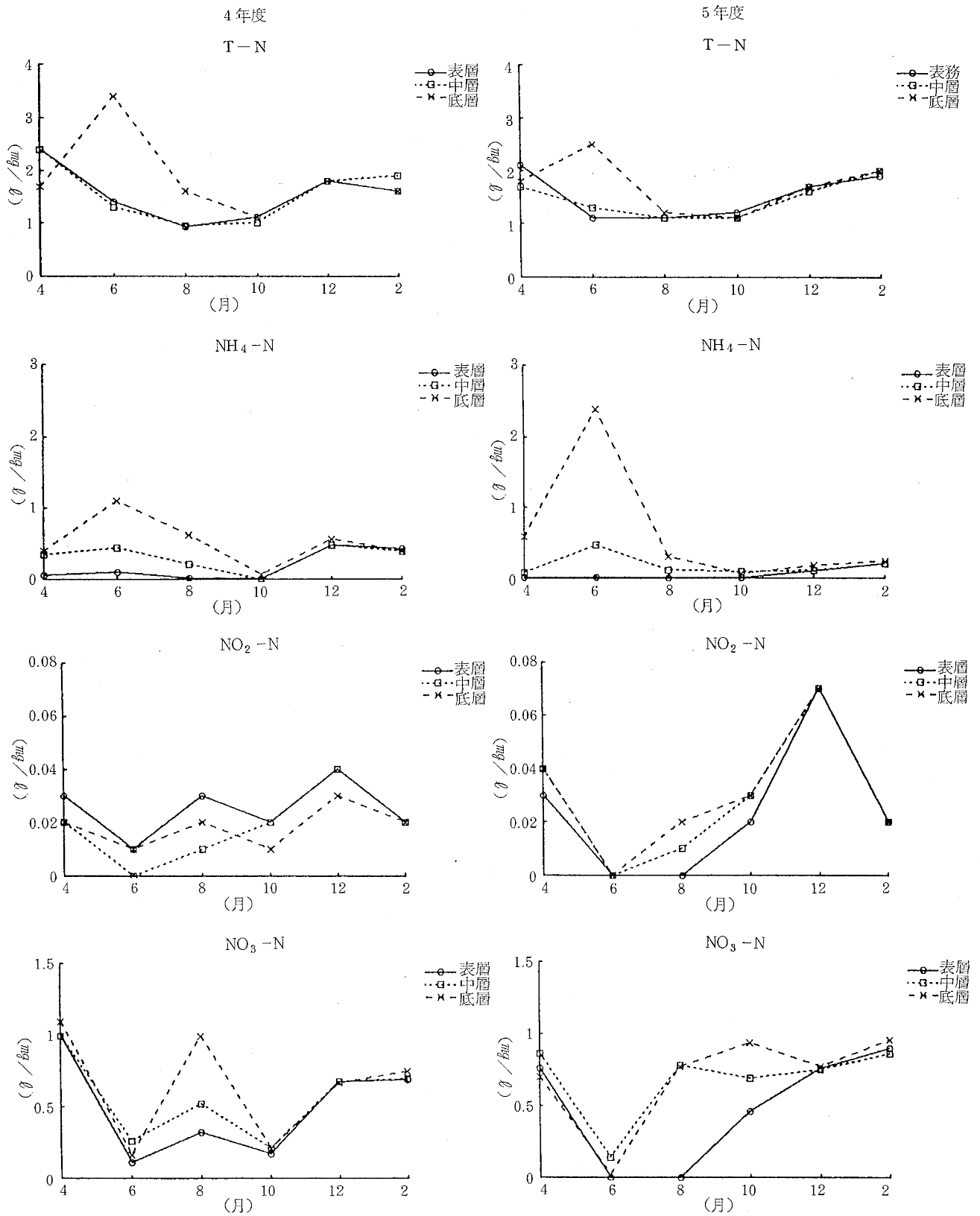


図9 表層、中層及び底層のNの変動(2)

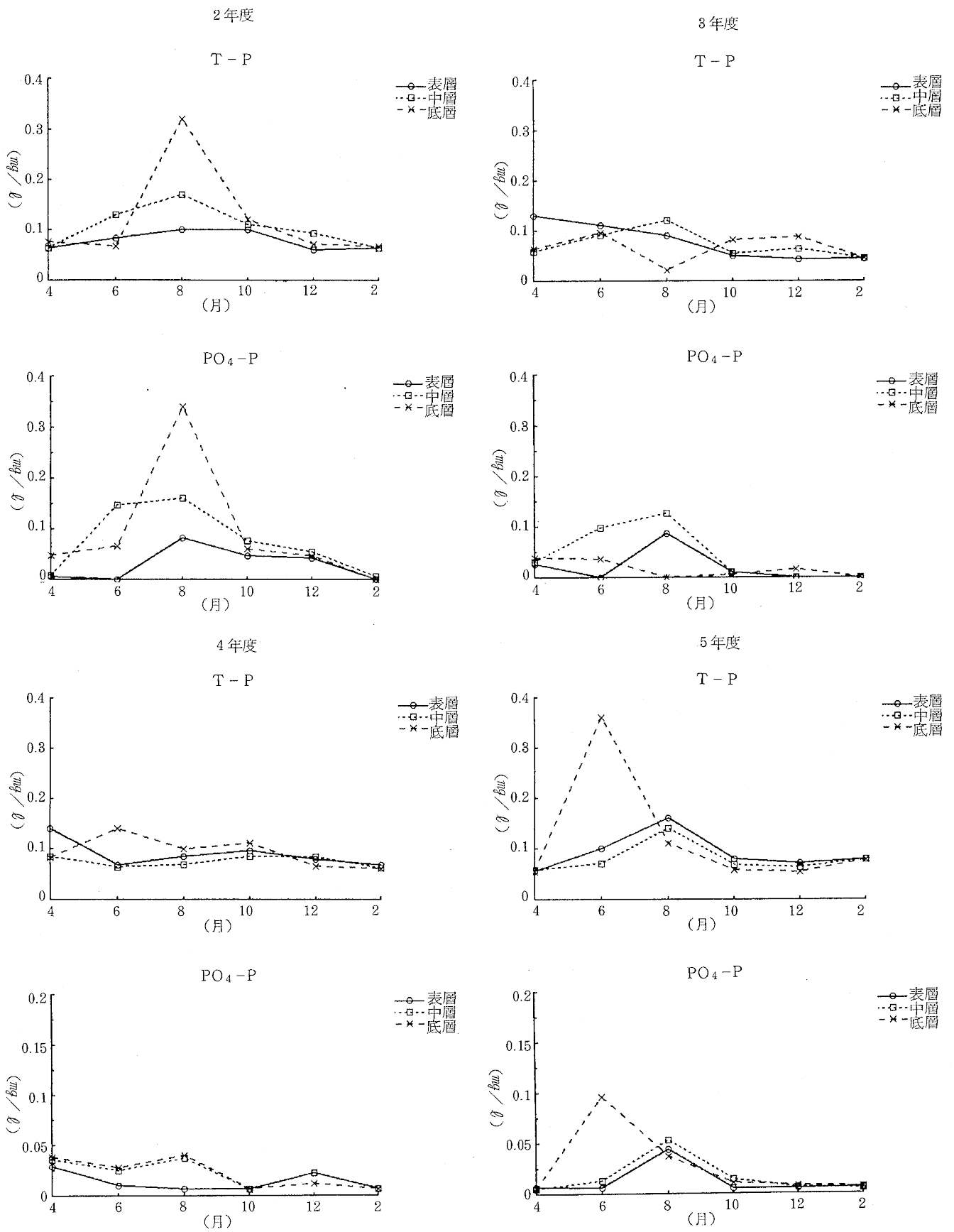


図10 表層、中層及び底層のPの変動

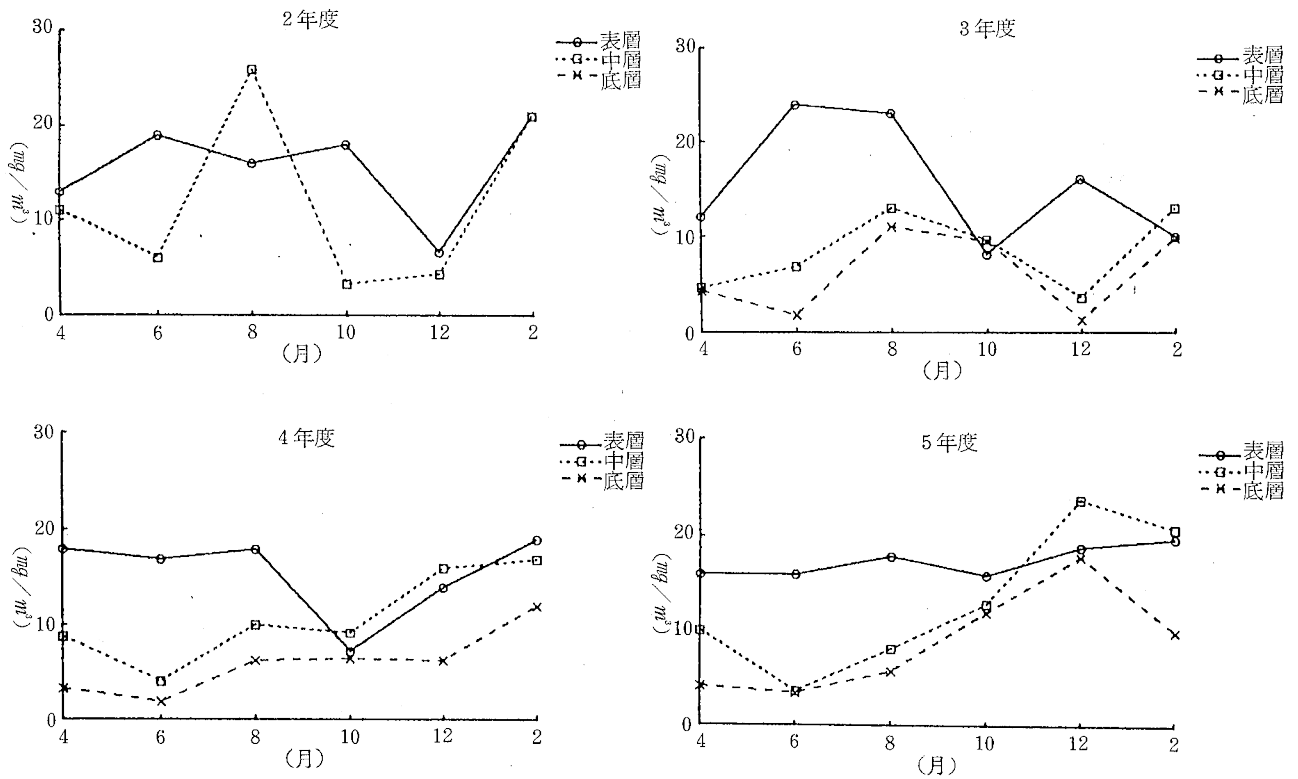


図11 表層、中層及び底層の Chl-a の変動

流入河川水の影響を受けやすいので、海域の場合程明確な傾向がみられなかった。

pHの変動を図6に示す。調査年によりやや差はあるが、成層が継続している4月から9月までは植物プランクトンの増殖等によって中層及び底層に比べて表層のpHが高くなり、pH10を越えることもあった。成層が崩壊し、全層循環となった10月以降は表層、中層及び底層は同値であった。また、中層及び底層は年間を通じてpHがあまり変動せず、pH8程度の一定値であり、貧酸素水塊形成によるpHの低下は認められなかった。

CODの変動を図7に示す。成層が継続している期間の表層は中層及び底層に比べて高い値となっていたが、成層の崩壊した10月以降は表層、中層及び底層はほぼ同値であった。また、中層及び底層は年間を通じて変動が少なく、貧酸素水塊形成によるCODの低下は認められなかった。

BODの変動を図8に示す。CODとほぼ同じ傾向がみられた。

T-N, NH₄-N, NO₂-N及びNO₃-Nの変動を図9に示す。

平成2年度の調査結果をみると、底層に極めてD

O濃度の低い貧酸素水塊が生じていた6月及び8月は表層に比べて中層及び底層のT-Nの値が高くなる傾向が見られた。この時期は底層のNH₄-N濃度が高くなっており、特に、底層のDO濃度が0.3mg/lと極めて低かった8月はNH₄-N濃度が表層に比べ著しく高かったことから、底層に貧酸素水塊が生じ、還元状態になったため底層から溶出したためと推察される。成層が崩壊し、全層循環した10月はT-N及びNH₄-N濃度は逆に底層が最も低かったが、以後は表層、中層及び底層は同じ値であった。底層のNH₄-Nが全層循環期に表層と同様極めて小さい値をとっていることから、貧酸素水塊形成による底泥からのNH₄-Nの溶出によるものと考えられる。また、NO₂-N及びNO₃-NはNH₄-Nと逆の変化のパターンを示し、底層に極めてDO濃度の低い貧酸素水塊が生じていた6月及び8月は底層は表層及び中層と同様に低い値を示した。この時期は底層が還元状態であり、NH₄-NからのNO₂-NやNO₃-Nへの酸化が抑制されていることが推察される。このことから、底層のT-Nは底層に極めてDO濃度の低い貧酸素水塊が生じていた時期は底泥から溶出したNH₄-Nの割合が高く、貧酸素水塊消滅

後はほとんどがNO₂-N及びNO₃-Nによるものと考えられる。

平成3年度の調査結果をみると、底層に極めてDO濃度の低い貧酸素水塊が生じていた時期の底層のNH₄-Nは表層及び中層に比べて高い値を示したが、T-Nは表層及び中層の値とあまり差がみられなかった。また、底層のNO₂-N及びNO₃-Nはこの時期低い値を示した。成層が崩壊し、全層循環した10月は底層のNO₂-Nは検出限界値以下の低値であったが、NO₃-Nは逆に高い値であった。このことは、全層循環によって底層にDOが供給され速やかにNO₂-NがNO₃-Nに酸化されたことと考えられる。

平成4年度の調査結果をみると、底層に極めてDO濃度の低い貧酸素水塊が生じていた時期の底層のT-N及びNH₄-Nは表層及び中層に比べて高い値を示した。この時期、底層のNH₂-Nは底値であったが、8月は底層のNO₃-Nが高い値を示した。

平成5年度は平成2年度と同様の傾向がみられた。

これらのことから、底層に極めてDO濃度の低い貧酸素水塊が生じると底層が還元状態となり、底泥からNH₄-Nが溶出し、還元状態のためNO₂-N及びNO₃-Nへの酸化は抑制されていることから、T-Nの増加は主にNH₄-Nの増加によるものと考えられる。

T-P及びPO₄-Pの変動を図10に示す。

平成2年度の調査結果をみると、底層に極めてDO濃度の低い貧酸素水塊が生じていた8月は底層のT-P及びPO₄-Pの濃度が表層の3倍以上に増加しており、これは、底層に貧酸素水塊が生じ、還元状態になったため底層からPO₄-Pが溶出したためと推察される。成層が崩壊し、全層循環した10月以降は表層、中層及び底層は同じ値であった。

平成3年度は平成2年度ほど顕著な特徴はみられなかった。

平成4年度は平成2年度とほぼ同じ傾向がみられた。成層期の底層及び中層のPO₄-Pがほぼ同じ変化を示していることから底層に貧酸素水塊が生じ底泥から溶出したPO₄-Pは中層まで拡散していることがうかがわれる。

平成5年度は平成2年度とほぼ同じ傾向がみられた。

これらのことから、底層に極めてDO濃度の低い貧酸素水塊が生じると底層が還元状態となり、底泥からPO₄-Pが溶出し、PO₄-Pは底層のDO濃度が低い程溶出しやすいことがわかった。

Chl-aの変動を図11に示す。

平成2年度は底層の測定を実施していないので解析から除いている。

平成3年度から5年度までの調査結果をみると、夏季表層においては植物プランクトンの増殖に伴い急激に増加するが、中層及び底層は値の増加のスピードが遅く、底層の貧酸素水塊の形成による影響はみられなかった。

以上のことから、底層に貧酸素水塊が形成され還元状態になると、底泥からNH₄-NやPO₄-Pが溶出し、底層のT-N及びT-Pの濃度が増加することがわかった。

ま と め

湖沼底層の貧酸素水塊形成による湖水への影響を把握するため、平成2年度から5年度までの4年間の府中湖中央における水質調査結果をもとに解析調査を行い、次のことが明らかになった。

1. 成層は毎年4～9月頃まで続き、5～8月頃が最も成層状態が強い。この時期、底層のDO濃度が低下し、貧酸素水塊が形成された。
2. 底層に貧酸素水塊が形成されると還元状態となり、底泥からのNH₄-NやPO₄-Pの溶出がみられた。

文 献

- 1) 環境庁：平成4年度環境庁委託業務報告書，瀬戸内海における底層貧酸素化対策調査（1993）。
- 2) 環境庁：平成5年度環境庁委託業務報告書，瀬戸内海における底層貧酸素化対策調査（1994）。
- 3) 藤井裕士，多田薫，大森利春 他：香川県公害研究センター所報，**9**，89（1984）。
- 4) 山本務，藤田淳二，多田薫 他：香川県公害研究センター所報，**11**，29（1986）。