

湖沼底層における貧酸素水塊の形成（第2報）

The Formation of Poor Dissolved Oxygen Water in Benthic Layer of Lakes and Shallow Ponds in Marshes (2)

小山 健 日野 康良 笹田 康子 白井 康子
Tuyoshi KOYAMA Yasuyoshi HINO Yasuko SASADA Yasuko SHIRAI

川波 誉大* 石原 暁
Yoshihiro KAWANAMI Akira ISHIHARA

はじめに

本県は、瀬戸内海気候で少雨のため、農業灌漑用などとしてダム・ため池が造られ、特に平地に多く点在している。近年、宅地化が進み、全国と同様の傾向で、その水質の悪化、富栄養化の進行、アオコの発生、利水障害等が問題となっており、香川県においては昭和61年度から湖沼富栄養化実態調査¹⁾を実施しているところである。府中湖については、山本ら^{2~4)}が湖沼の富栄養化対策の水質シミュレーションモデルを試み、リン制限のダム湖であることを報告している。

今回、前報⁵⁾でそれまでの4年間の報告に引き続き、府中湖の湖心における平成6年度から10年度までの5年間の水質調査結果をもとに、貧酸素水塊の形成状況並びに貧酸素水塊の形成に伴う栄養塩の推移等について報告する。

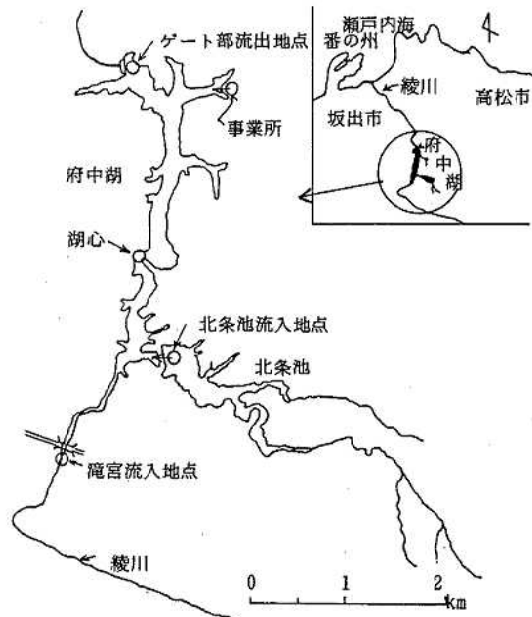


図1 府中湖周辺図

調査方法

1. 調査期間

平成6年4月～平成11年3月（1回/月実施）

2. 調査ダム湖の概要

府中湖は本県のほぼ中央部に位置しており、昭和42年に綾川（2級河川）をせき止めた平地ダムである。

府中湖周辺図及び諸元等を図1、表1に示す。

調査地点は府中湖の湖心（ダムゲート部から2km上流、水深11～12m）で、表層水（水面下0.5m）、底層水（湖底上1m）、中層水（水深の1/2）を採水した。

表1 府中湖の諸元等

| | |
|-------|-------------------------|
| 湛水面積 | 1.21 km ² |
| 湛水距離 | 5,400m |
| 総貯水量 | 8,500,000m ³ |
| 有効貯水量 | 8,000,000m ³ |
| 最大水深 | 25.5m（ゲート部） |
| 平均水深 | 7.0m |
| 集水面積 | 122.7km ² |
| 利水目的 | 農業用水、工業用水 |
| 流入河川等 | 綾川と北条池 |

3. 調査項目及び測定方法

調査項目及び測定方法は表2のとおりである。なお、*印の調査項目は偶数月のみ実施し、他の項目は毎月実施した。

表2 調査項目及び測定方法

| 調査項目 | 測定方法 |
|----------------------|------------------|
| 水温 | JIS-K0102 7.2 |
| pH | JIS-K0102 12.1 |
| DO | JIS-K0102 32.1 |
| BOD | JIS-K0102 21 |
| COD | JIS-K0102 17 |
| 透明度 | 海洋観測指針 |
| T-N * | JIS-K0102 45.4 |
| NH ₄ -N * | JIS-K0102 42.2 |
| NO ₂ -N * | JIS-K0102 43.1.1 |
| NO ₃ -N * | JIS-K0102 43.2.3 |
| T-P * | JIS-K0102 46.3.1 |
| PO ₄ -P * | JIS-K0102 46.1.1 |
| Chl-a * | 海洋観測指針 |

調査結果及び考察

1. 調査結果

府中湖の湖心における平成6年度から10年度までの5年間の水質調査結果の平均値等を表3に示す。

表3 水質測定結果の平均値、中央値、最小値及び最大値（平成6年度～平成10年度）

| | 表層 | | | | 中層 | | | | 底層 | | | |
|-------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|------|
| | 平均値 | 中央値 | 最小値 | 最大値 | 平均値 | 中央値 | 最小値 | 最大値 | 平均値 | 中央値 | 最小値 | 最大値 |
| 気温(°C) | 19.0 | 20.0 | 1.6 | 36.5 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 水温(°C) | 18.8 | 18.7 | 6.0 | 33.2 | 17.1 | 17.7 | 5.5 | 30.5 | 14.6 | 13.5 | 5.5 | 28.5 |
| 透明度(m) | 0.96 | 1.0 | 0.3 | 2.0 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| pH | 8.5 | 8.7 | 7.1 | 10.4 | 7.6 | 7.5 | 7.0 | 8.8 | 7.3 | 7.2 | 6.8 | 8.8 |
| DO (mg/L) | 11 | 11 | 3.8 | 20 | 6.3 | 5.8 | 0.7 | 13 | 4.4 | 3.5 | <0.5 | 14 |
| BOD (mg/L) | 5.1 | 4.7 | 2.3 | 12 | 3.5 | 3.1 | 1.7 | 6.9 | 3.5 | 3.2 | 1.4 | 10 |
| COD (mg/L) | 8.3 | 6.7 | 4.6 | 21 | 6.1 | 5.9 | 4.4 | 13 | 6.3 | 6.1 | 4.1 | 11 |
| SS (mg/L) | 11 | 9 | 2 | 28 | 10 | 8 | 3 | 46 | 17 | 14 | 3 | 63 |
| T-N (mg/L) | 1.2 | 1.2 | 0.38 | 1.9 | 1.3 | 1.4 | 0.32 | 2.2 | 1.7 | 1.7 | 1.0 | 3.0 |
| T-P (mg/L) | 0.065 | 0.058 | 0.013 | 0.14 | 0.066 | 0.058 | 0.032 | 0.14 | 0.16 | 0.093 | 0.036 | 0.66 |
| 塩素イオン (mg/L) | 21 | 21 | 12 | 34 | 21 | 21 | 9 | 35 | 21 | 21 | 11 | 31 |
| NH ₄ -N (mg/L) | 0.07 | 0.04 | 0.01 | 0.23 | 0.16 | 0.12 | <0.01 | 0.62 | 0.67 | 0.47 | 0.04 | 3.0 |
| NO ₂ -N (mg/L) | 0.037 | 0.02 | <0.01 | 0.32 | 0.036 | 0.02 | <0.01 | 0.31 | 0.037 | 0.02 | <0.01 | 0.34 |
| NO ₃ -N (mg/L) | 0.45 | 0.44 | <0.01 | 1.1 | 0.55 | 0.59 | <0.01 | 1.1 | 0.54 | 0.56 | <0.01 | 1.4 |
| PO ₄ -P (mg/L) | 0.008 | 0.005 | <0.003 | 0.073 | 0.016 | 0.006 | <0.003 | 0.072 | 0.025 | 0.014 | <0.003 | 0.19 |
| クロロフィル-a (mg/m ³) | 21 | 20 | 3 | 47 | 14 | 14 | 1.4 | 41 | 10 | 9.5 | 2 | 32 |
| 表層との水温差(°C) | - | - | - | - | - | - | - | - | 4.3 | 2.4 | -0.3 | 14.0 |

2. 成層の形成状況

平成6年度から10年度までの5年間の表層、中層及び底層の水温の推移を図2に示す。

各年度ともに、4月から9月までの水温は表層が最も高く、中層、底層の順になって、表層と底層では最大14°Cの水温差がみられ、成層状態が継続していること、そして、10月になると表層と底層の水温差は小さくなり、以後全層ほぼ同じ水温となり、成層はなくなって、水深11~12mの府中湖の湖心において、毎年、成層が同じサイクルで形成されていることが、前報と同様に、確認された。

3. 貧酸素化の状況

平成6年度から10年度までの5年間の表層、中層及び底層のDO濃度の推移を図3に示す。

成層が形成されている時期は表層ではプランクトンの光合成・炭酸同化作用で過飽和度が大きくなり、一方、底層では有機物の分解及び呼吸による酸素消費のみが進行し、表層と底層の濃度差が大きくなっている。そして、底層のDO濃度は5月から9月にかけて非常に低く、特に、平成6年7月、7年8月、8年8月、9年7月及び10年7月から9月は0.5mg/L未満であった。このように、成層が形成されている時期に底層はほぼ無酸素状態で、前報と同様に、安定な貧酸素水塊が出現していたと考えられる。

一方、10月から2月にかけては、表層、中層及び底層のDO濃度はほぼ同じで、循環期で、成層がなくなったためと考えられる。

また、表層、底層の水温差と底層のDO濃度の推移を図4に示す。表層と底層の温度差が大きい5月から9月にかけては底層のDO濃度はほとんどないことから、成層の形成が貧酸素水塊の出現に大きく寄与していると考えられる。

以上のことから府中湖の湖心(水深11~12m)において、前報と同様に、貧酸素水塊が毎年ほぼ同じサイクルで4月~9月にかけて出現していることが確認された。

4. 水質の状況

平成6年度から10年度の5年間の表層、中層及び底層の水質の推移を図5~図15に示す。

透明度の推移を図5に示す。透明度は年間を通じてほぼ1m前後であり、7月~8月にかけては夏期に表層ではプランクトンの増殖のため透明度が更に低くなっている。

pHの推移を図6に示す。中層及び底層では年間を通じてほぼpH7~8である。一方、表層では、成層の継続している4月から9月にかけては植物プランクトンの炭酸同化作用の影響でpH10付近になり、成層がなくなっている10月から2月までの循環期は中層及び底層とほぼ同じでpH7~8で推移している。

CODの推移を図7に示す。成層の形成されている時期には、表層のCODは中層及び底層に比べて高くなっている。中層及び底層のCODは年間を通じてほぼ同様に推移している。

BODの推移を図8に示す。BODはCODとほぼ同様の傾向で推移している。

栄養塩類のT-N、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、T-P及びPO₄-Pの推移を図9~14に示す。

T-Nについては、各年度とも底層に貧酸素水塊が出現している時期で、特に6月から8月にかけては底層のT-Nが最も高く、中層、表層の順になっている。また、10月から2月までの循環期には、全層ともほぼ同じ濃度で推移している。

NH₄-Nについては、表層及び中層は年間を通じて、ほぼ、0.5mg/Lより低い濃度で推移している。一方、底層は貧酸素水塊の出現している4月から9月までの濃度が高く、循環期の10月から2月までは表層及び中層とほ

ぼ同じ低い濃度で推移している。特に、平成8年及び10年の8月は底層のNH₄-Nが非常に高く、かつ、NO₂-N、NO₃-Nがほとんどない状態となっており、貧酸素水塊の生成により還元状態となり湖底からの溶出も含め、窒素はほとんどがアンモニア態となっているものと考えられる。

NO₂-Nについては、年間を通じて0.1mg/L以下で推移しているが、平成9年度の2月のみ全層ともに他の時期に比べて高い値を示している。

NO₃-Nについては、全体的に、各層ともに夏期には濃度が低く、10月から高くなる傾向を示している。つまり、循環期には表層から底層までが混合されて、平成9年度の2月を除き、大気からの酸素供給によりほとんど硝酸態となっているものと考えられる。

T-Pは、表層及び中層は0.04~0.1mg/Lでほぼ横ばい状態で推移している。底層については貧酸素水塊の出現している6月又は8月は、他の時期に比べて高い濃度である。そして、循環期の10月から2月にかけては、全層とも同じ濃度で推移している。PO₄-PはT-Pとほぼ同様の傾向で推移している。

Chl-aの推移を図15に示す。4月から9月までの成層状態が継続している時期は、表層のChl-aは中層及び底層に比べて高く、特に表層においてプランクトンが多く増殖しているものと考えられる。10月以後成層はなくなって全層ほぼ同じ濃度で推移している。

ま と め

府中湖の湖心(水深11~12m)の上層、中層及び底層について平成6年度から平成10年度に実施した水質調査結果から、次のことがあきらかになった。

4月から9月までは気温の上昇とともに、表層の水温が最も高く、表層と底層では最大14℃の水温差がみられ、成層状態が継続し、10月から2月までは全層ほぼ同じ水温となり、成層はなくなっている。そして、毎年、成層が同じサイクルで形成されていて、成層が形成されている時期には、底層はほぼ無酸素状態で、安定な貧酸素水塊が出現していることが確認された。

成層の継続している4月から9月にかけては、表層のCOD、BOD、pH及びChl-aは中層及び底層に比べて高く、植物プランクトンの活発な活動のためと考えられる。また、成層が形成されて、安定な貧酸素水塊が

出現している時期は、栄養塩類では、底層のT-N、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、T-P及び $\text{PO}_4\text{-P}$ は表層及び中層に比べて高く、底層は還元状態で湖底からの溶出もあるものと考えられる。

以上のことから、府中湖の湖心では、4月から9月までは成層を形成して、その時期には底層では貧酸素水塊が毎年ほぼ同じサイクルで出現し、また、表層、中層及び底層の水質も、前報の平成2年度から5年度までの4年間の報告とほぼ同様に推移していることが確認された。

文 献

- 1) 香川県：公共用水域水質測定結果
- 2) 山本務，藤田淳二，多田薫，中野智：香川県環境研究センター所報，11，29(1986).
- 3) 山本務，藤田淳二，浮田和也，中野智：香川県環境研究センター所報，12，29(1987).
- 4) 山本務，藤田淳二，浮田和也，中野智：香川県環境研究センター所報，12，37(1987).
- 5) 三木正信，東川麻希子，中野啓三 他：香川県環境研究センター所報，18，80(1993).

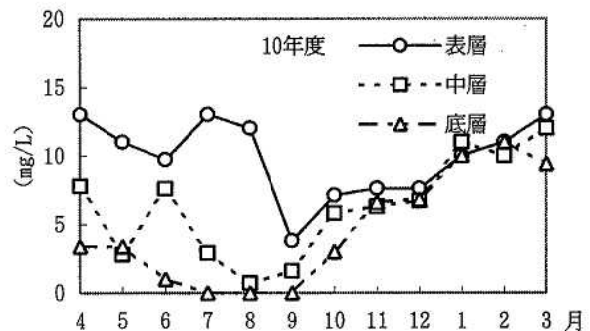
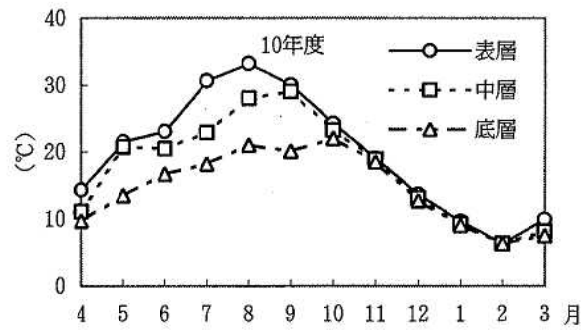
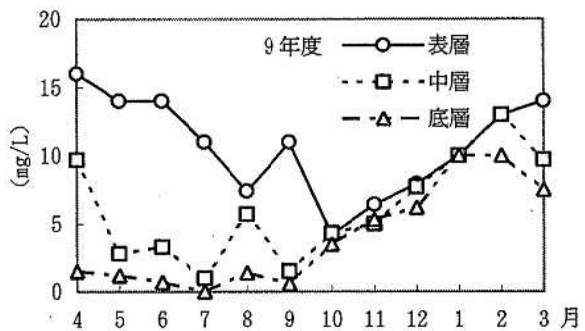
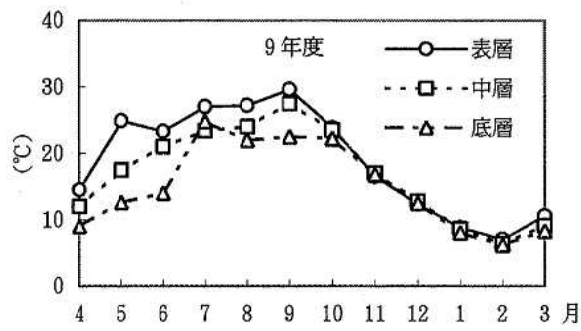
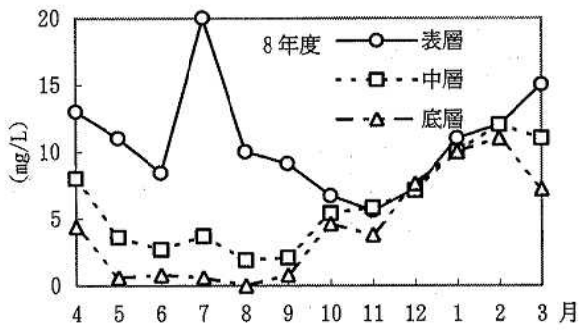
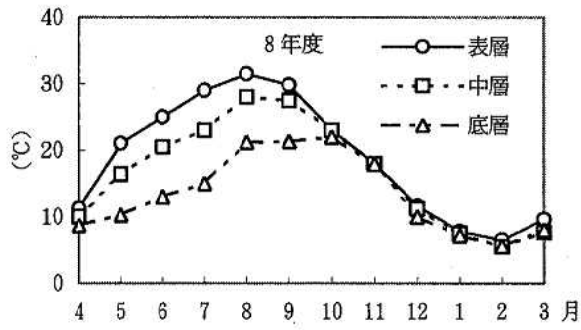
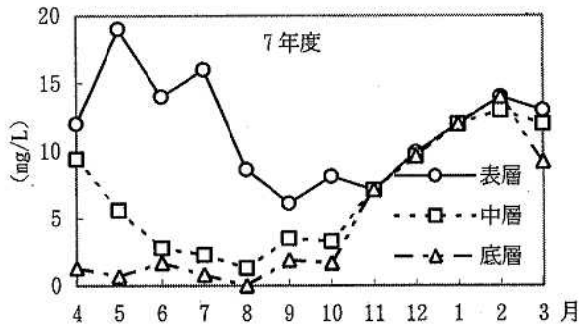
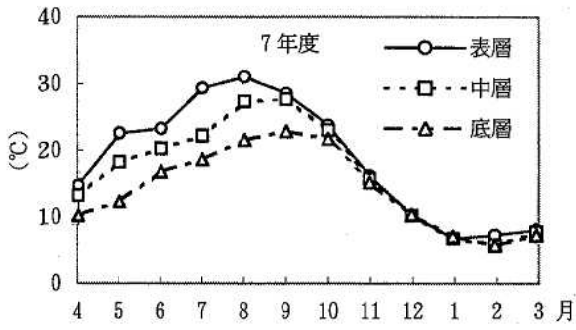
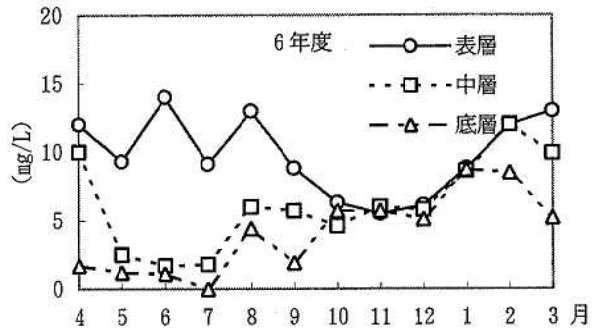
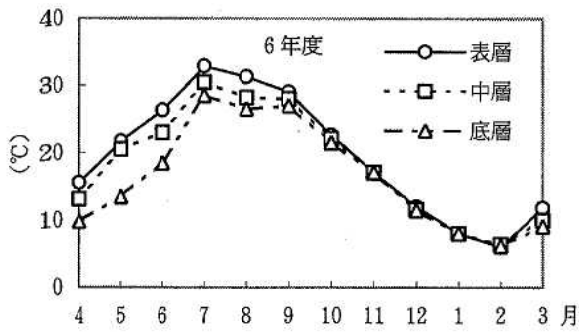


図2 水温の推移

図3 DO濃度の推移

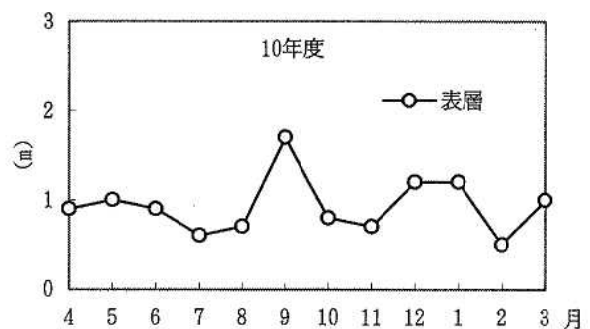
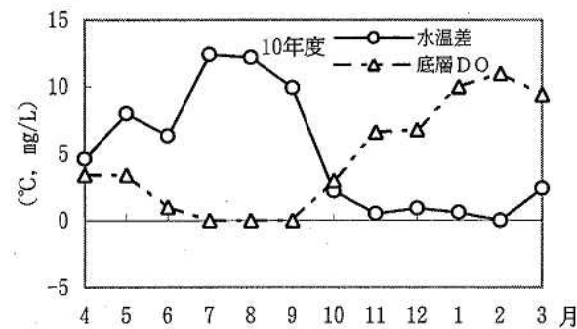
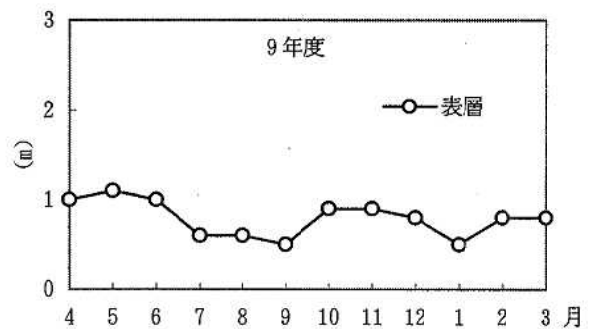
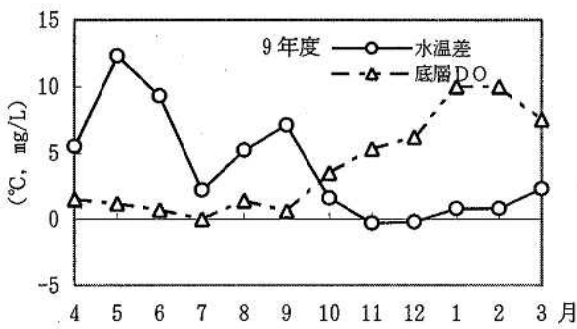
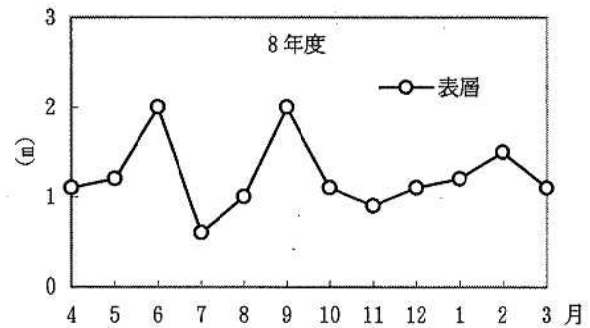
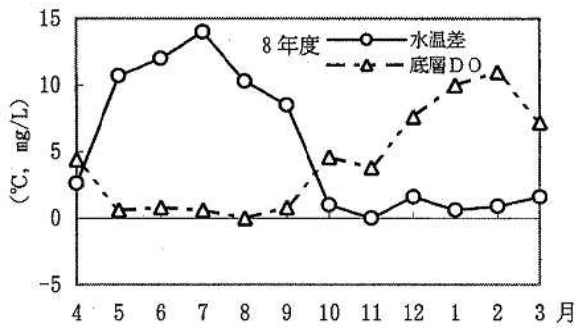
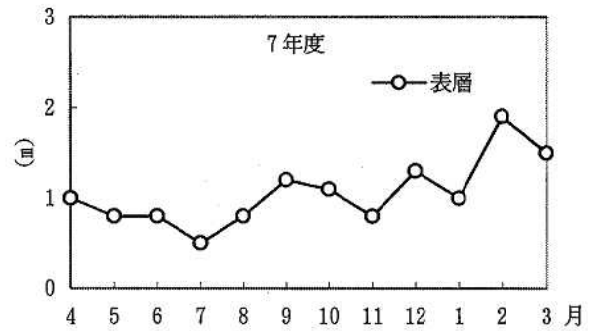
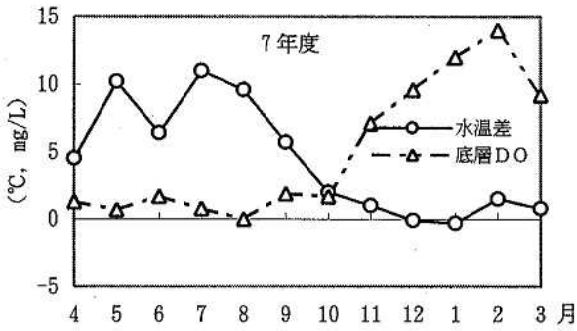
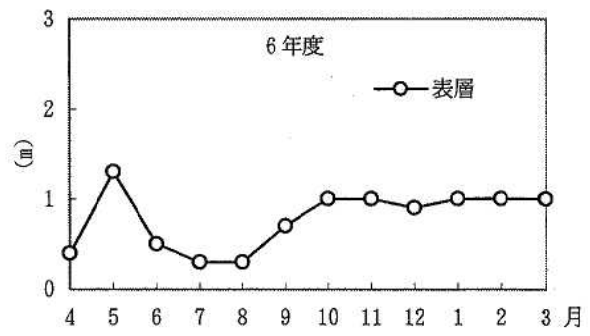
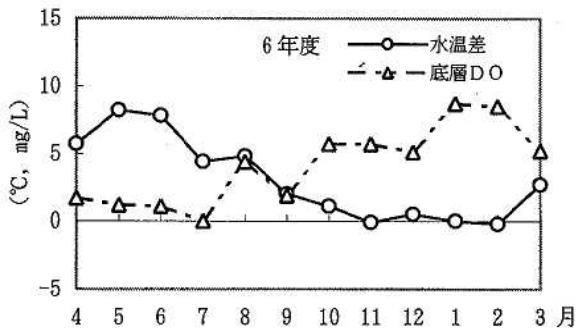


図4 表層・底層の水温差と底層DO濃度の推移

図5 透明度の推移

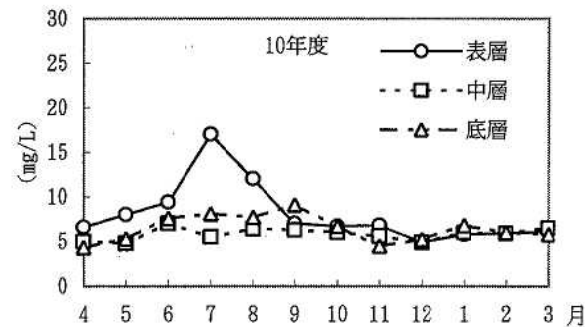
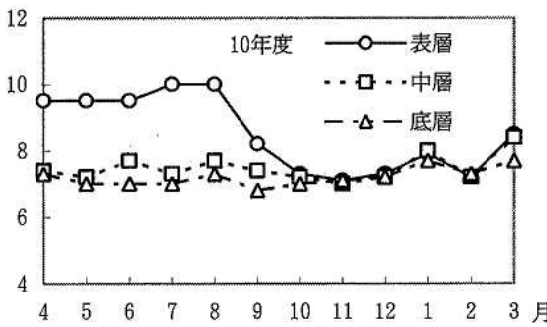
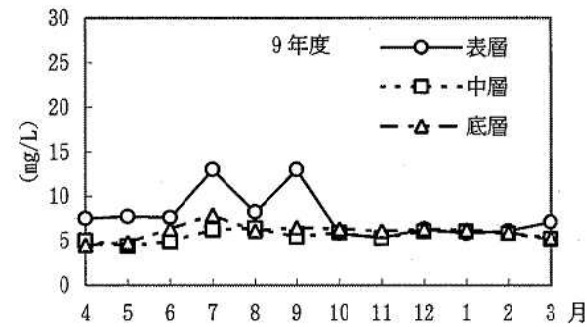
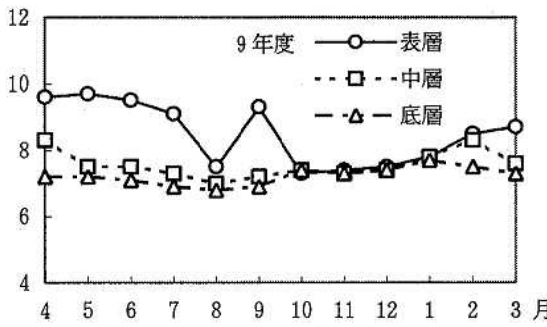
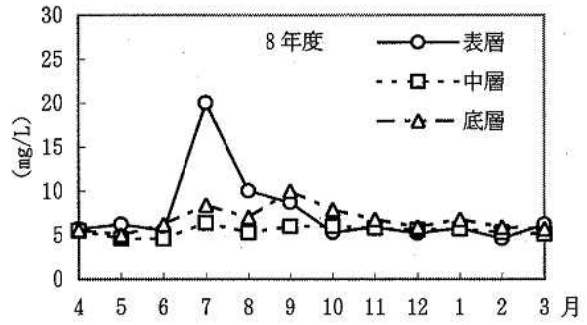
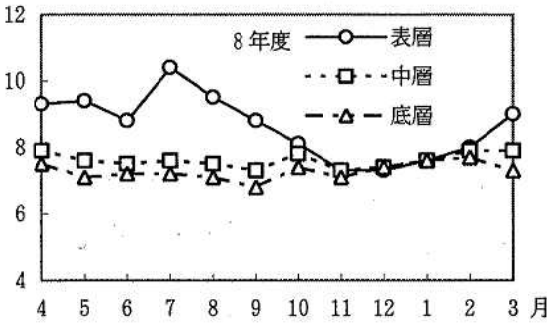
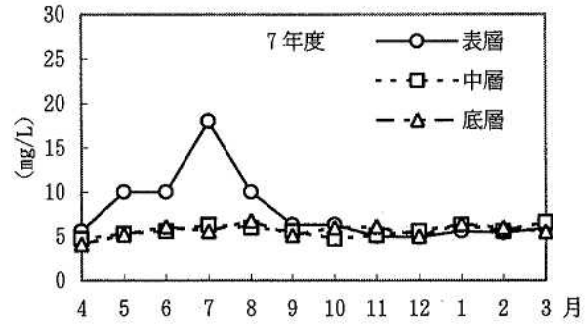
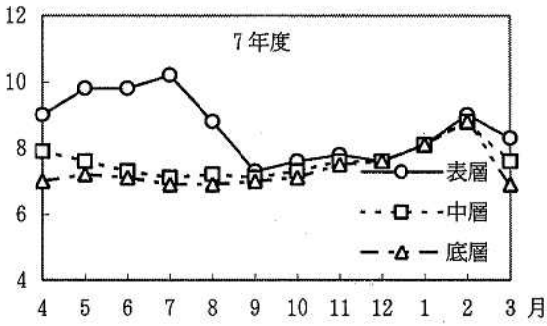
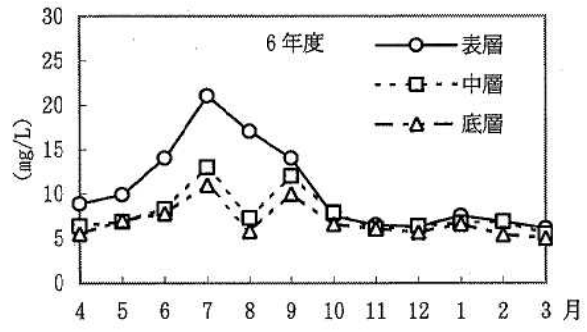
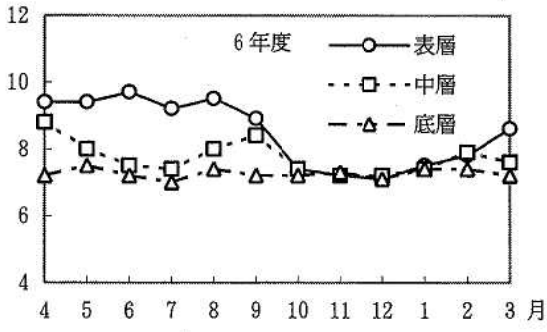


図6 pH値の推移

図7 COD値の推移

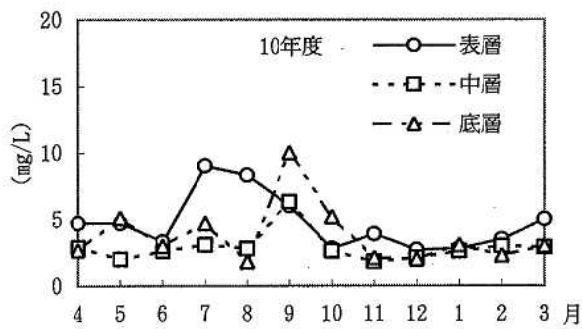
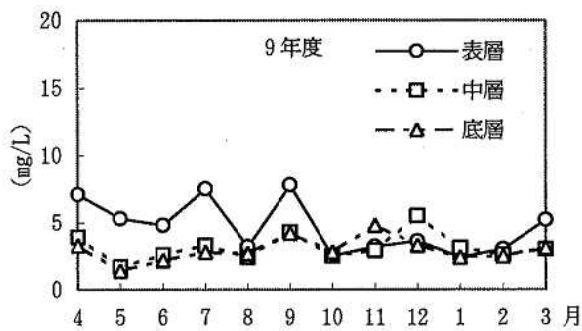
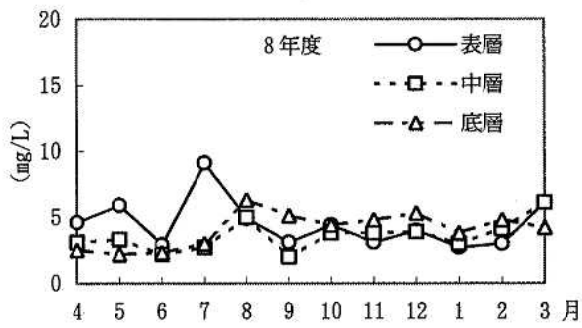
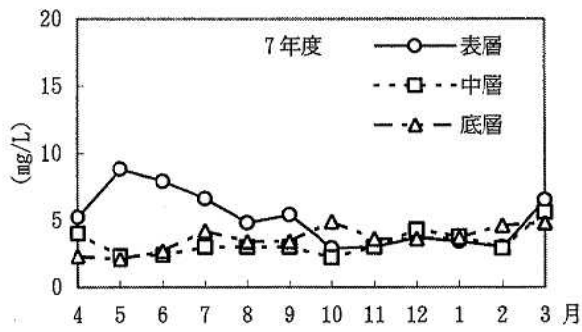
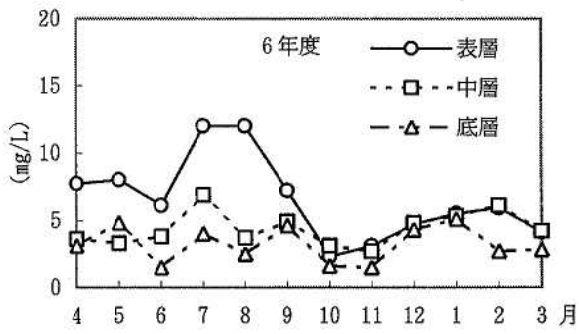


図8 BOD値の推移

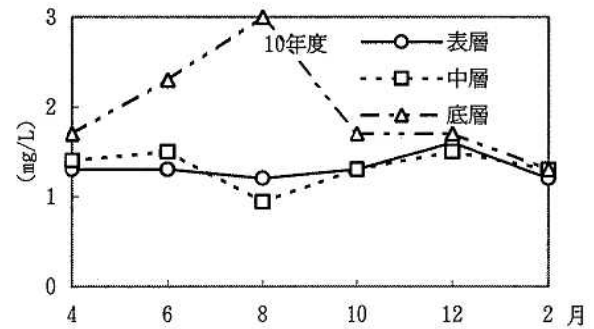
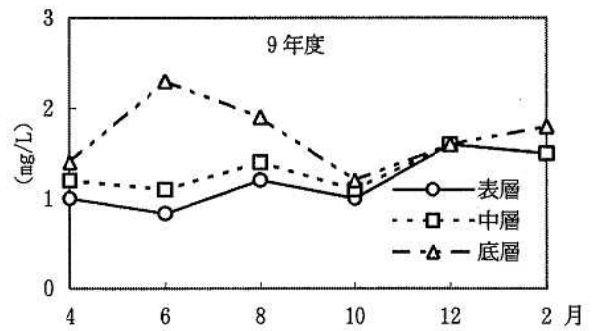
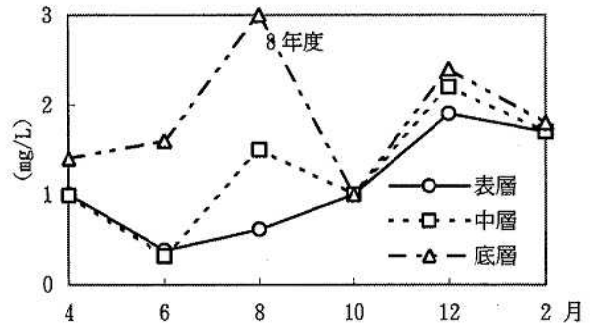
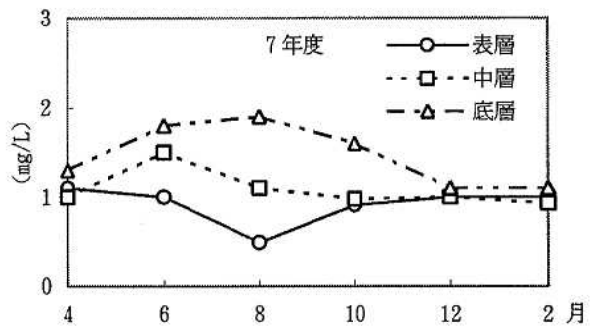
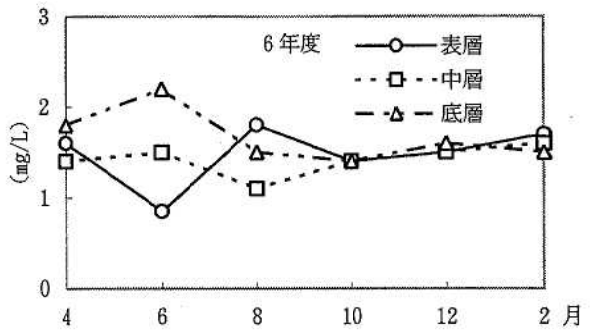


図9 T-N濃度の推移

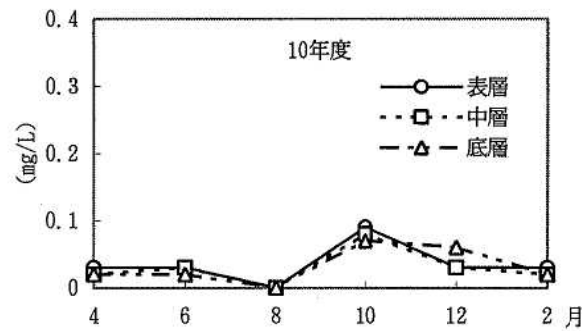
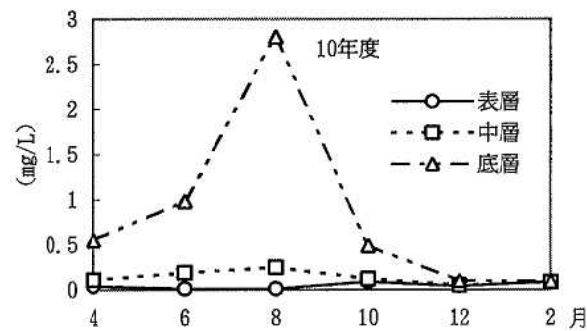
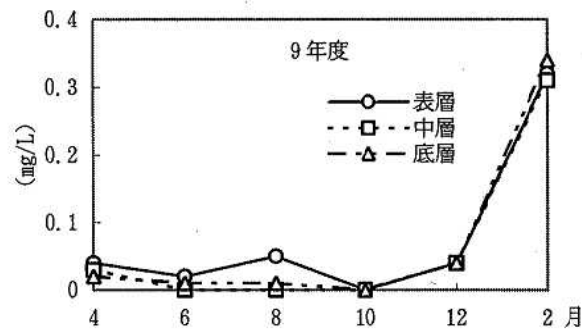
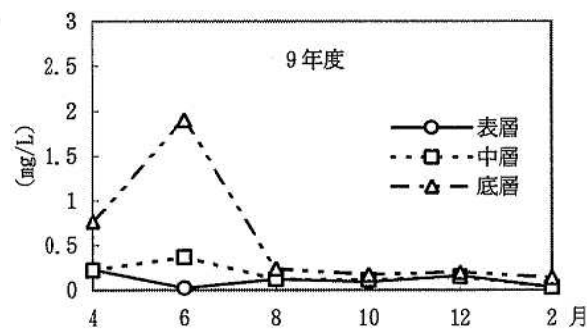
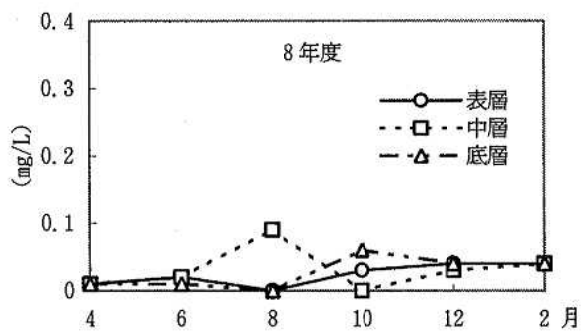
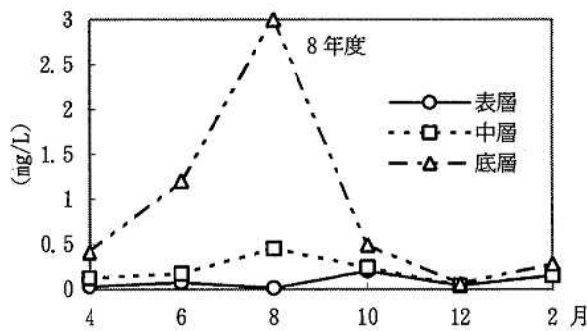
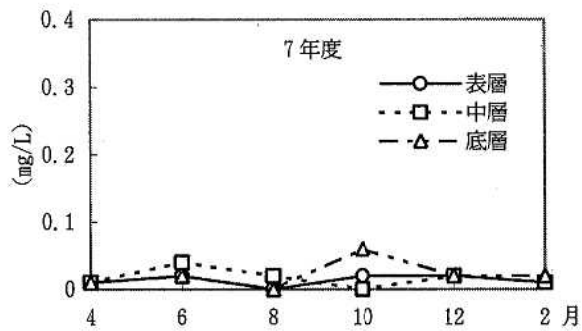
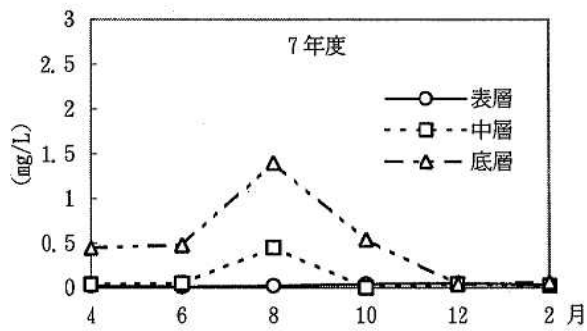
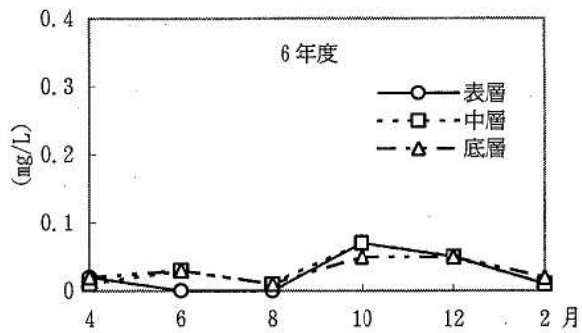
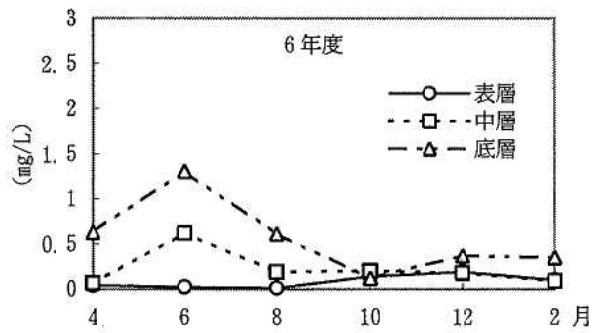


図10 NH₄-N濃度の推移

図11 NO₂-N濃度の推移

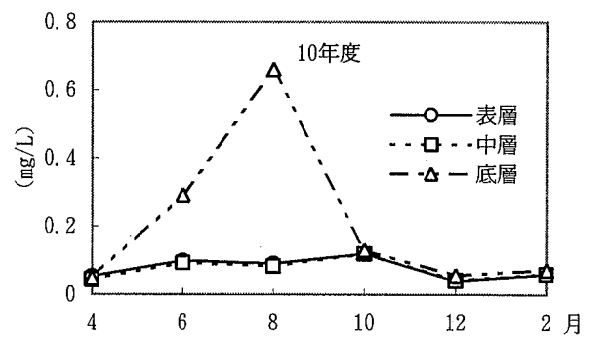
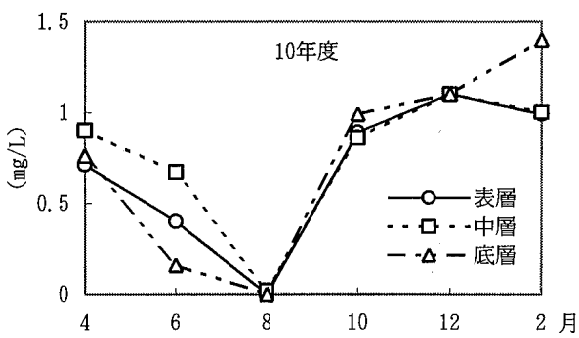
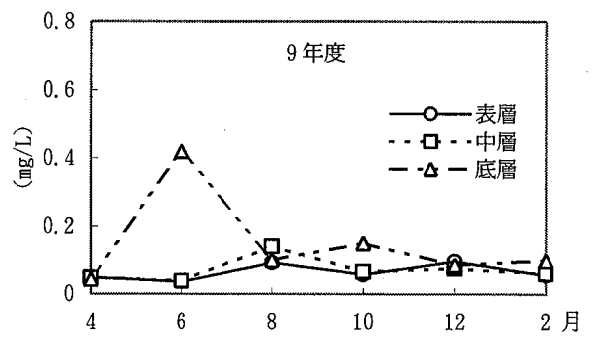
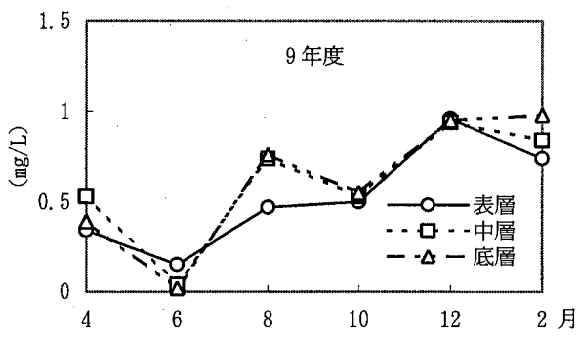
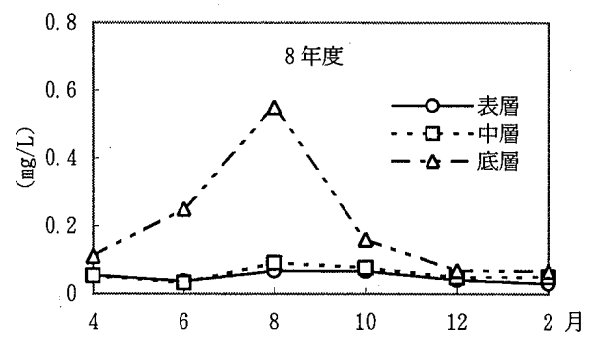
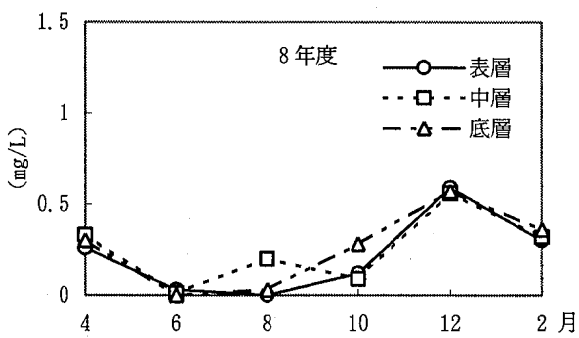
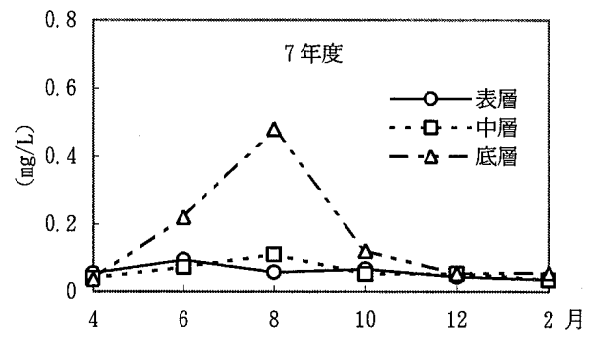
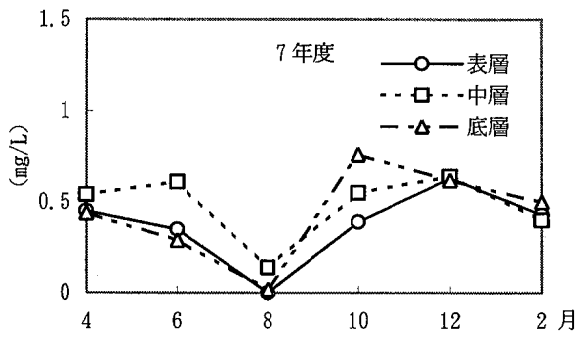
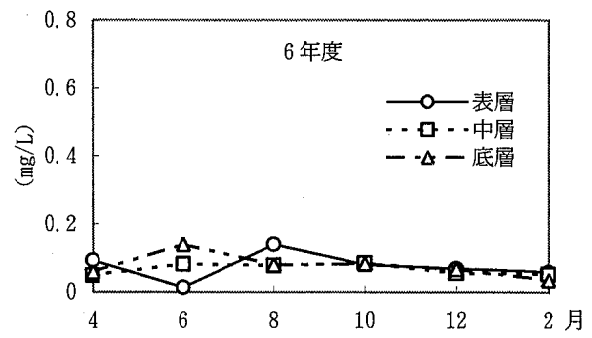
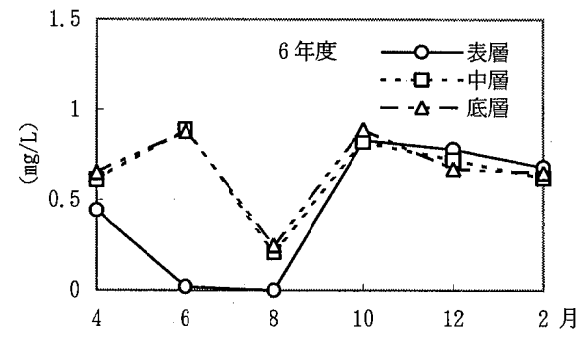


図12 NO₃-N濃度の推移

図13 T-P濃度の推移

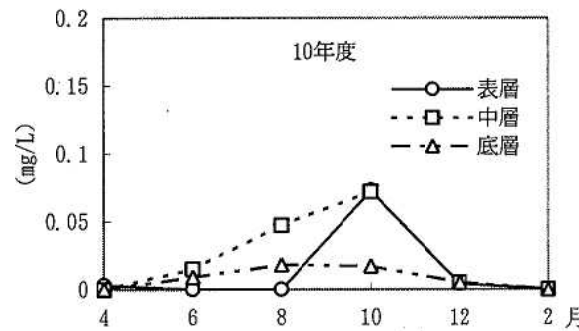
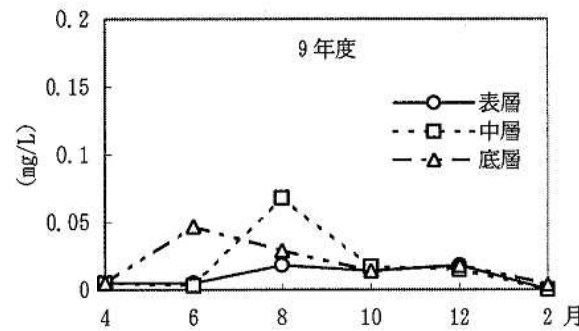
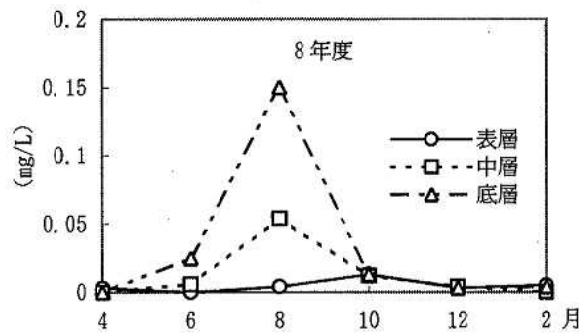
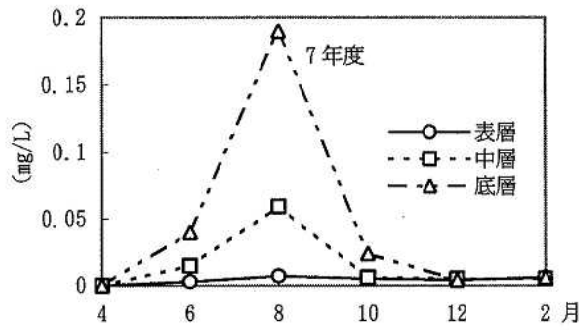
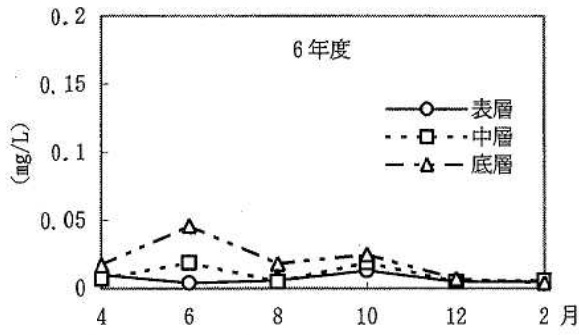


図14 PO₄-P濃度の推移

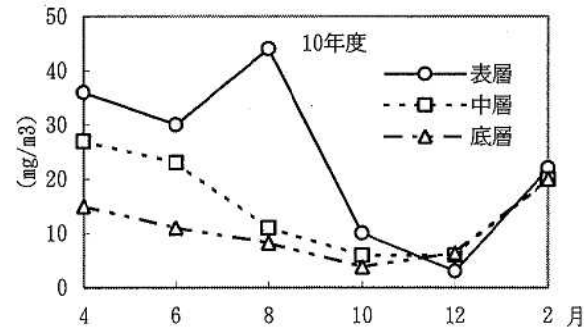
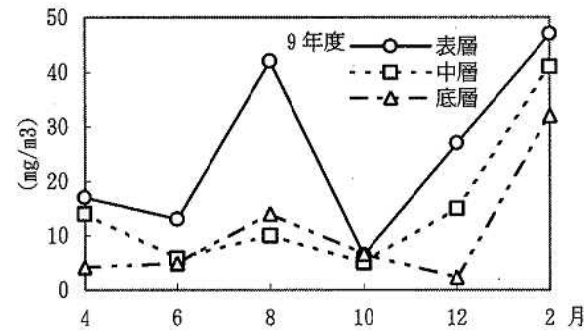
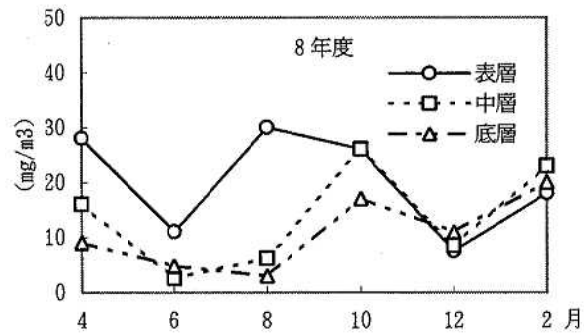
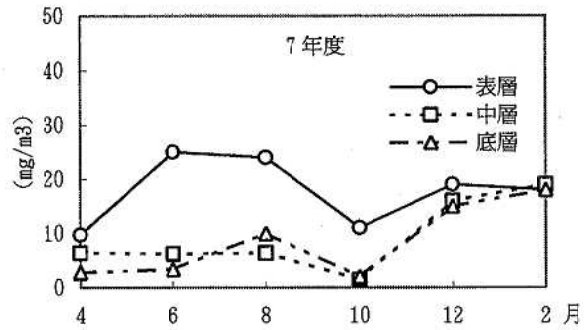
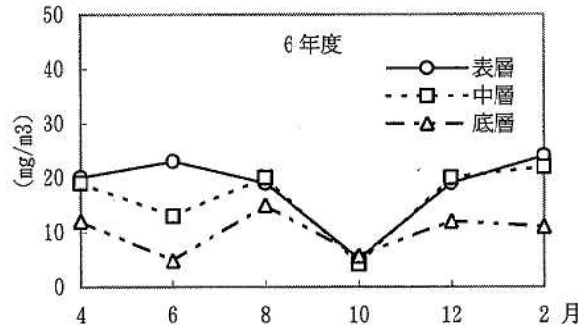


図15 Chl-a濃度の推移