

## 八郎湖の富栄養化に関する一考察

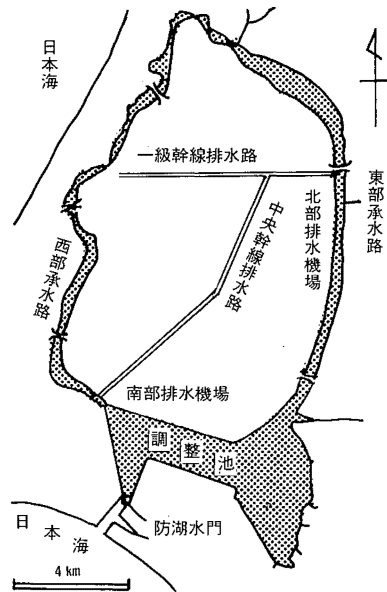
片野 登 高田 熙<sup>\*1</sup> 鈴木 雄二 石郷岡 晋<sup>\*2</sup>  
泉 克博<sup>\*3</sup> 組谷 均 高橋 浩<sup>\*4</sup>

### 1 はじめに

八郎湖は、北緯40度、東経140度の経緯交差点を中心に東西12km、南北27km、総面積22,024haの汽水湖で、琵琶湖に次ぐ我国第二の大きさを有していたが、昭和32年に着工された干拓工事により、現在では東部承水路、西部承水路、調整池として4,564haの水面を残しているにすぎず、これらを併せて八郎湖と称している。

八郎湖では、CODが環境基準を超え、短期的、局所的とはいえアオコの発生が見られる。昭和53年7月には大量のアオコの発生が見られ、この時は大潟橋でCODで26mg/lを記録している。

八郎湖の富栄養化対策を実施するため、県は昭和55年度から『八郎湖水質汚濁機構解明調査』を実施し、発生源別の汚濁負荷量を算定した。また、昭和60年度からは3カ年にわたって農用地からのCOD、T-N、T-P等各種汚濁負荷量と排水路における挙動を明らかにするために『八郎湖における水質汚濁物質負荷量削減に関する調査研究』を行った。この結果については、一部前報（当センター報 第16号）で報告した。更に、当センターでは夏季アオコの発生が観察された時には、適宜八郎湖の水質調査を行っている。これらの水質調査の結果と、八郎湖および周辺の河



図一1.1.1 八郎湖

川について定期的に行っている水質調査（公共用水域水質測定計画に基づく水質調査）の結果をとりまとめたので報告する。

### 2 水質測定地点及び分析の方法

#### (1) 水質測定地点

八郎湖及びその周辺の水質測定地点を図一2.1.1に示す。

#### (2) 水質の測定回数

調整池内の地点については、1、2月の氷結期を除く毎月1回行っている公共用水域水

\*1 現秋田保健所 \*2 現本荘保健所 \*3 現能代保健所 \*4 現環境保全課



質測定計画に基づく調査の他に、6～9月のアオコ発生時に水質調査を行っており、本報告には57～63年度の延べ87回の調査結果を使用した。

八郎湖周辺河川（馬踏川、豊川、井川、馬場目川、三種川）については、公共用水域水質測定計画に基づく調査を毎月1回行っており、57～63年度の延べ84回の調査結果を使用した。

八郎湖流入河川（鯉川、鹿渡川、糸流川、鶉川、小深見川、第二小深見川、妹川、飯塚川、山谷川、新屋敷川、牡丹川、浅内川、天王水路、塩口水路、天瀬川）については、60～61年度の年4回、計8回の調査結果を使用した。

また、幹線排水路及び一部の中排水路については、60～62年度の計23回の調査結果を使用した。

なお、昭和62年8月31日に八郎湖に海水が

流入する事態が発生し、いくつかの分析結果に異常な値が見られたので、経月変化については、平常時の値を考慮するという目的から、62年度のデータを加えずに取り扱った。

### (3) 水質の分析方法

水質の分析は、次の方法に従って行った。

## 3 分析結果

### (1) 全窒素（T-N）

経年変化を見ると（図－3.1.1）、調整池内の年平均値は0.50～0.80mg/lの範囲にある。東部0m、湖心0mは、59年度をピークとして60年度以降は濃度がやや下降気味であったが、63年度は濃度が急激に高くなっている。西部0m、防潮水門0mはほぼ横ばいの状態を示している。

八郎湖に汚濁負荷を与える河川、水路等の中から、馬踏川と南部排水機場の濃度を比較のために併せて図示した。馬踏川橋は

表－2.3.1 水質の分析方法

| 項 目                | 分 析 方 法                            |
|--------------------|------------------------------------|
| COD（未ろ過）           | J I S K 0102.17                    |
| COD（溶存態）           | 同 上 （1μガラスフィルターでろ過後）               |
| T-N（未ろ過）           | オートアナライザー法（J I S K 0102.45.2に準拠）   |
| T-N（溶存態）           | 同 上 （1μガラスフィルターでろ過後）               |
| T-P（未ろ過）           | オートアナライザー法（J I S K 0102.46.3.1に準拠） |
| T-P（溶存態）           | 同 上 （1μガラスフィルターでろ過後）               |
| S S                | 環境庁告示 付表 6                         |
| NH <sub>4</sub> -N | オートアナライザー法（J I S K 0102.42.2に準拠）   |
| NO <sub>2</sub> -N | オートアナライザー法（上水試験方法 19.2に準拠）         |
| NO <sub>3</sub> -N | オートアナライザー法（J I S K 0102.43.2.3に準拠） |
| PO <sub>4</sub> -P | オートアナライザー法（J I S K 0102.46.1.1に準拠） |
| C h l . a          | 海洋観測指針 9.6                         |
| TOC（未ろ過）           | J I S K 0102.22                    |
| TOC（溶存態）           | 同 上 （1μガラスフィルターでろ過後）               |

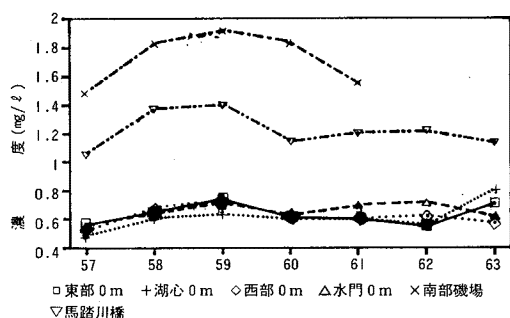


図-3.1.1 T-Nの経年変化(地点別)

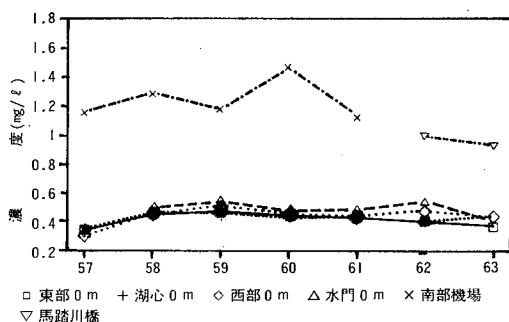


図-3.1.2 T-N(溶存態)の経年変化  
(地点別)

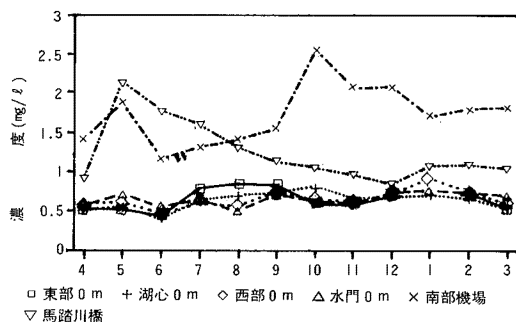


図-3.1.3 T-Nの経月変化(地点別)

1.06~1.40mg/lと調整池内と比較してかなり高い濃度を示しており、南部排水機場での濃度は更に高く1.48~1.92mg/lで推移している。

調整池内の溶存態の濃度は、各地点とも0.4~0.5mg/lで(図-3.1.2)横ばいの状態を示している。

霞ヶ浦の中心部におけるDTN(溶存態全

窒素)の平均濃度(昭和58~61年度)は0.858mg/l、また霞ヶ浦で最も汚染がひどいといわれる高浜入奥部における平均濃度は2.191mg/l<sup>1)</sup>で調整池内に比較すると高い。

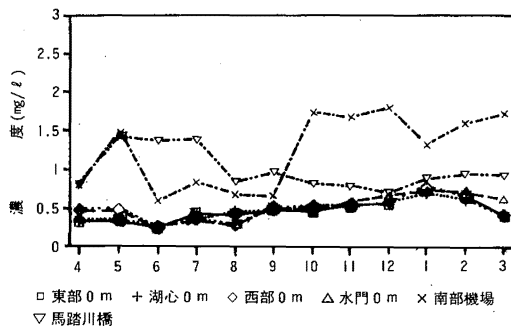
経月変化を見ると(図-3.1.3)、調整池内の月平均値は0.39~0.92mg/lの範囲にあり、東部0m、湖心0mでは7~10月に濃度が高くなる。

馬踏川橋では5月に非常に高い濃度(2.14mg/l)が見られ、以降12月まで徐々に濃度が低下する。

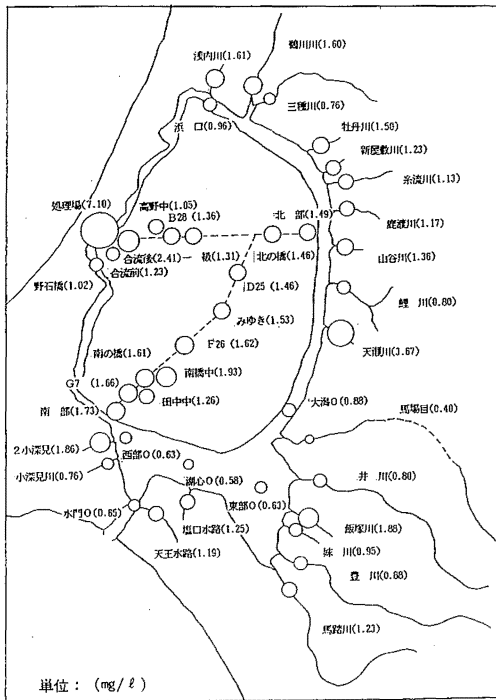
南部排水機場では、5月に代かきの影響と思われるピーク(1.87mg/l)が出現するが、6~9月は濃度が低下し(1.16~1.55mg/l)、10月に再び上昇して(2.55mg/l)11月以降3月まで比較的高濃度(1.70~2.08mg/l)で推移する。

干拓地への農業用水は、干拓地周辺に設置されている19カ所の取水口を通して八郎湖から取水され、農用地で使用された後は、排水路を経て幹線排水路に集水されて、南部・北部両排水機場に導水され排出される。取水は5~9月の灌漑期のみ行われ、両排水機場とも5~8月に大量の排出を行い、9月はほぼ3分の1に減少する。その量は、昭和57年の場合、5~8月の両排水機場の合計量が6200万~8900万m<sup>3</sup>で、他の月の900万~3400万m<sup>3</sup>に比べ圧倒的に多くなっている<sup>2)</sup>。これらの排水は、汚濁負荷として八郎湖に流入する。南部排水機場で6~9月に濃度の低下が見られるのは、大量の排水の流入により希釈されたことによるものと思われ、他の項目においても同様の現象が見られる。

溶存態窒素の経月変化では(図-3.1.4)、調整池内のいずれの地点でも6月に最も濃度が低下し(0.23~0.25mg/l)、7月以降徐々に



図—3.1.4 T-N(溶存態)の経月変化  
(地点別)



図—3.1.5 T-Nの平均濃度(57～61年度)

濃度を増して1月に最も高くなる(0.70～0.80 mg/l)。全窒素と比較して夏季の濃度が低いのは、クロロフィルaの濃度が夏季に増大することから、植物プランクトンに取り込まれるためと考えられる。馬踏川橋では4月に0.82mg/lだった濃度が5～7月に1.35～1.40 mg/lと高くなり、8月以降再び低下する(0.69～0.96mg/l)。南部排水機場では灌漑期の5月

には一時濃度が高くなる(1.47mg/l)ものの、6～9月は濃度が低下する(0.58～0.82mg/l)が、この低下は排水の流入による希釈のためと考えられる。そして、排水の流入が停止する10月以降再び濃度が上昇する。

八郎湖周辺の水質測定地点での57～61年度の平均濃度を見ると(図—3.1.5)、周辺河川・水路の濃度は概ね調整池内の2倍、干拓地の幹線排水路での濃度は調整池内の約3倍の濃度を示し、調整池内よりも低い濃度を示しているのは僅かに馬場目川(0.40mg/l)の一点だけである。濃度の高い所では、大潟村終末処理場排水(7.1mg/l)、天瀬川(3.67mg/l)などが目につくが、これらの流量は比較的少ないので負荷量的にはそれほど大きな影響を与えるものではないと思われる。

また、各態窒素の百分率の経月変化を図—3.1.6～9に示す。調整池内の他の3点はいずれも湖心0mと同様のパターンを示している。これを見ると、硝酸態窒素( $\text{NO}_3\text{-N}$ )の比率が3月の45.9%から減少して7、8月にそれぞれ8.1、7.7%と少なくなり、9月以降は再び増加して2月に最大64.6%となる。これに対し、有機態窒素の方は3月の45.2%から徐々に増加して、8月に最大の77.7%になる。これは、硝酸態窒素が植物プランクトンに取り込まれて減少し、有機物生産に利用されることにより有機態窒素が増加するものと考えられる。亜硝酸態窒素( $\text{NO}_2\text{-N}$ )の比率はそれほど大きくないので目立たないが、アンモニア態窒素( $\text{NH}_4\text{-N}$ )については7月に17.1%とやや比率が大きくなり、特にこの兆候は—5mで著しい(24.3%)。広島湾における調査では、夏場は40%以下の貧酸素水塊が形成され、このため底泥からアンモニア態窒素、リン酸が溶出し、底層に高濃度の栄養塩類が

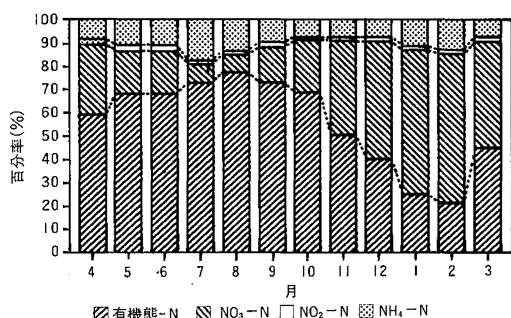


図-3.1.6 各態窒素の百分率の経月変化  
(湖心 0 m)

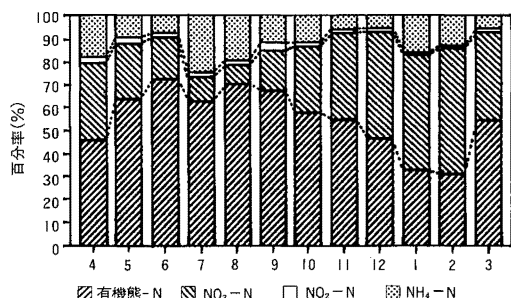


図-3.1.7 各態窒素の百分率の経月変化  
(湖心-5 m)

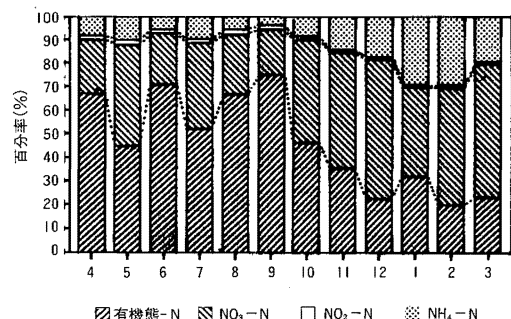


図-3.1.8 各態窒素の経月変化  
(南部機場)

蓄積されるとしている<sup>3)</sup>が、湖心-5 mの溶存酸素の飽和度を見ると、最も低くなるのが7月で82%、次いで9月の85%であり、貧酸素水塊の形成については断定できないものの、リン酸態リンの比率が最も高くなるのが9月(73.1%)であることを考え合わせると、-5 m以深における貧酸素状態形成による溶出の

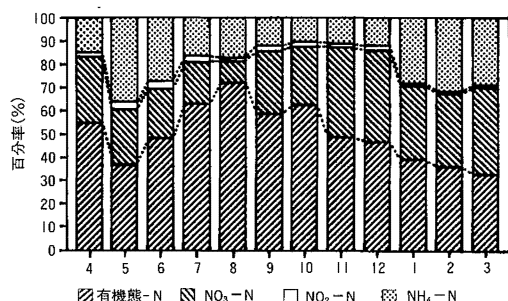


図-3.1.9 各態窒素の百分率の経月変化  
(馬踏川橋)

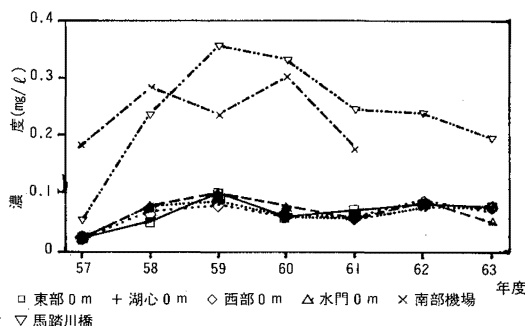


図-3.2.1  $\text{NH}_4\text{-N}$ の経年変化(地点別)

可能性も否定できない。

南部排水機場では、代かきの影響の大きい5月(43.2%)と10月以降3月まで硝酸態窒素の比率が高い(37.6~60.0%)。4月から9月にかけて有機態窒素の占める割合が高くなる(66.8~75.3%)のは藻類の発生によるものと思われる。また、冬季特に1、2月はアンモニア態窒素の占める割合が高くなる(それぞれ30.0、29.8%)。

馬踏川橋では、調整池内と比較してアンモニア態窒素の占める比率が高く、特に5、6月(それぞれ35.9、27.1%)と1~3月(27.4~31.2%)が高い。

## (2) アンモニア態窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ )

経年変化を見ると(図-3.2.1)、調整池内の年平均値は0.019~0.10mg/lの範囲にあり、各地点間にそれ程大きな差は見られない。馬

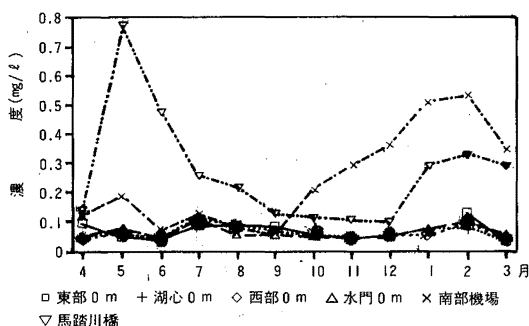


図-3.2.2  $\text{NH}_4\text{-N}$ の経月変化(地点別)

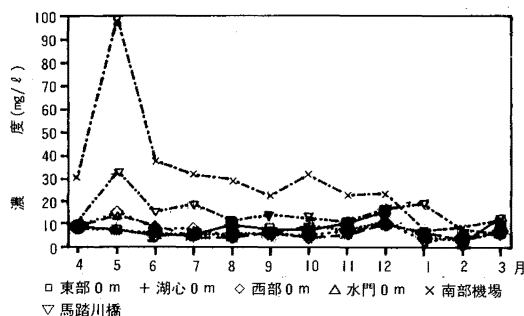


図-3.2.3 SSの経月変化(地点別)

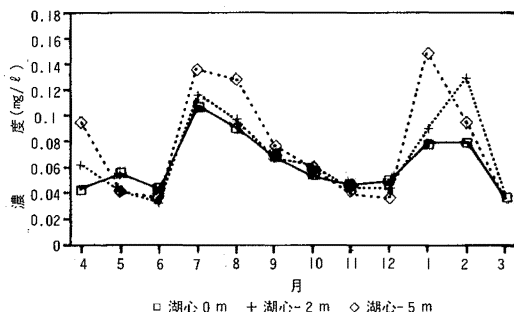


図-3.2.4  $\text{NH}_4\text{-N}$ の経月変化(湖心)

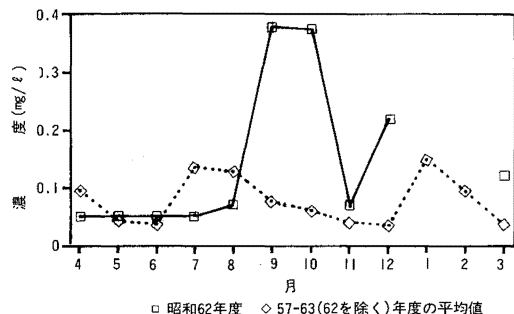


図-3.2.5  $\text{NH}_4\text{-N}$ の経月変化  
(湖心-5m)

踏川橋の濃度は $0.05\sim 0.35\text{mg/l}$ と飛び抜けて高いが、61年度以降徐々に濃度が減少する傾向にある。南部排水機場の濃度も $0.17\sim 0.30\text{mg/l}$ と高目に推移しているが、年変動も大きい。

経月変化を見ると(図-3.2.2)、調整池内の月平均値は $0.03\sim 0.13\text{mg/l}$ の範囲にあって、7~9月と2月の値がやや高くなる。馬踏川橋では5月に $0.77\text{mg/l}$ と極めて高い値を示し、7~12月までに低くなるものの1月以降再び $0.29\sim 0.33\text{mg/l}$ と高くなる。南部排水機場では灌漑期の6~9月に $0.04\sim 0.12\text{mg/l}$ と濃度が低下するが、10月以降再び濃度が上昇し2月に最も高くなって $0.53\text{mg/l}$ を示す。

代かきの影響を見るために、SSの経月変化を見ると(図-3.2.3)、5月の濃度は南部排水機場で $99\text{mg/l}$ と極めて高く、馬踏川橋の値( $33\text{mg/l}$ )はその3分の1であるが、これらは田圃の代かき排水の影響に因る所が大きいと思われる。しかし、5月の馬踏川橋のアンモニア態窒素の濃度は、南部排水機場の濃度を大きく上回ることから、これについては、肥料等のその他の要因の影響が考えられる。

夏季における調整池内のアンモニア態窒素の濃度の高まりは、深い所ほど大きくなる傾向がみられる(図-3.2.4)。また、62年度の湖心-5mの経月変化を見ると(図-3.2.5)、9月、10月に高い濃度(それぞれ $0.38, 0.37\text{mg/l}$ )が観測された。この時の-5mにおける溶存酸素飽和度は例年に比べかなり低下している(図-3.2.6)ことから、海水の流入により湖深部に貧酸素水塊が形成され、そのためアンモニア態窒素が湖底から溶出したものと思われる。このことが62年度の湖心-5mのアンモニア態窒素の平均値をひ

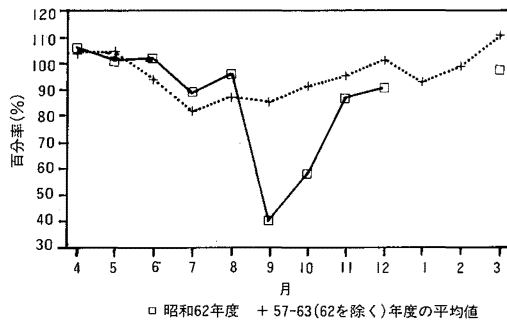


図-3.2.6 DOの飽和度の経月変化  
(湖心-5 m)

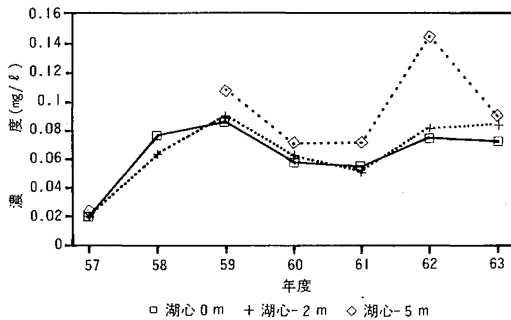


図-3.2.7  $\text{NH}_4\text{-N}$ の経年変化 (湖心)

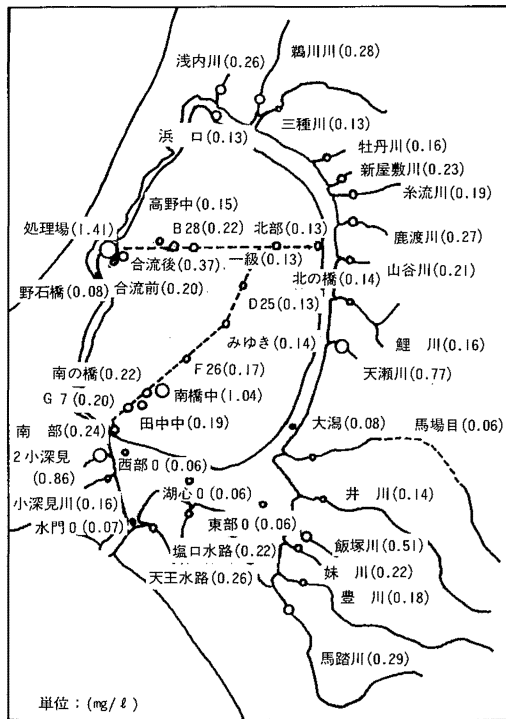


図-3.2.8  $\text{NH}_4\text{-N}$ の平均濃度  
(57-61年度)

き上げている (図-3.2.7)。

周辺の測定地点での57-61年度の平均濃度を見ると、(図-3.2.8)、いずれの測定地点も調整池内より濃度が高く、特に大潟村終末処理場排水 (1.41mg/ℓ)、南の橋中排水 (1.04 mg/ℓ)、第二小深見川 (0.86mg/ℓ)、天瀬川 (0.77mg/ℓ) などが周囲に比較して高い濃度を示している。

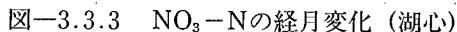
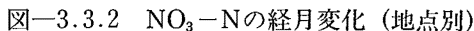
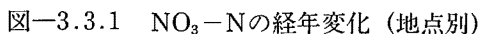
### (3) 硝酸態窒素 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )

経年変化を見ると (図-3.3.1)、調整池内の年平均値は0.067~0.282mg/ℓの範囲にある。57年度と63年度は調整池内の4点とも比較的低い値を示している。この調整池内4点の中では、水門0mの濃度が最も高く (57~63年度平均0.21mg/ℓ)、西部0m (同0.18mg/ℓ)、湖心0m (同0.16mg/ℓ)、東部0m (同0.13 mg/ℓ) の順で濃度の変化が見られる。

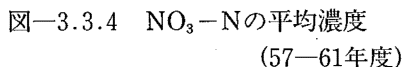
馬踏川橋の濃度は、57、63年度はやや低いものの総じて高めに推移している (0.28~0.42 mg/ℓ)。南部排水機場の濃度は61年度にやや低下したもののかなり高い濃度で推移している (0.58~0.85mg/ℓ)。

経月変化を見ると (図-3.3.2)、調整池内の月平均値は0.036~0.46mg/ℓの範囲で、いずれの地点においても7、8月に最も濃度が低くなり、9月以降濃度が高くなって1、2月に最高になる。7、8月及び3月はクロロフィルaの濃度が高くなる時期で、植物プランクトンの増殖に硝酸態窒素が利用されるため濃度が減少するものと考えられる。

馬踏川橋、南部排水機場、西部0m、水門0mで見られる5月のピーク (それぞれ0.52、0.81、0.20、0.22mg/ℓ) は、代かき等の影響によるものと思われる。南部排水機場では灌漑期の5月を除いた6~9月に一時濃度が低下する (0.25~0.48mg/ℓ) が、これは農業排



周辺の水質測定地点での平均濃度を見ると



#### (4) 有機態窒素

— 89 —

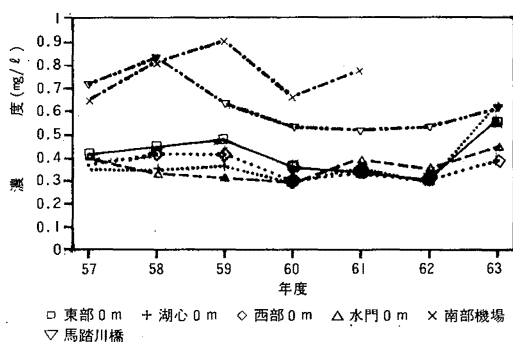


図-3.4.1 有機態-Nの経年変化(地点別)

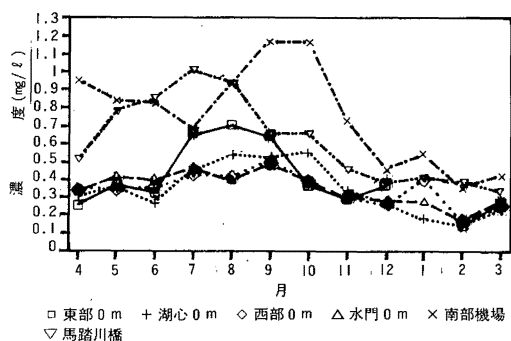


図-3.4.2 有機態-Nの経月変化(地点別)

踏川橋の濃度は58年度をピークにしてやや減少傾向にある。

経月変化を見ると(図-3.4.2)、調整池内の月平均値は0.14~0.70mg/lの範囲にあり、夏季に高く冬季に低い濃度を示している。夏季に高いのは植物プランクトンの増殖によるものと思われる。馬踏川橋では7、8月に極めて高い値を示し(それぞれ1.0、0.94mg/l)また、南部排水機場では4月(0.95mg/l)と灌漑期後の9、10月に濃度が高くなる(共に1.1mg/l)。いずれの場合もクロロフィルaの値も高いことから、植物プランクトンの増殖に因るものと思われる。

周辺の水質濃度を見ると(図-3.4.3)、概ね0.3~0.7mg/lの範囲にあり、大潟村終末処理場排水(1.08mg/l)、第二小深見川(0.89

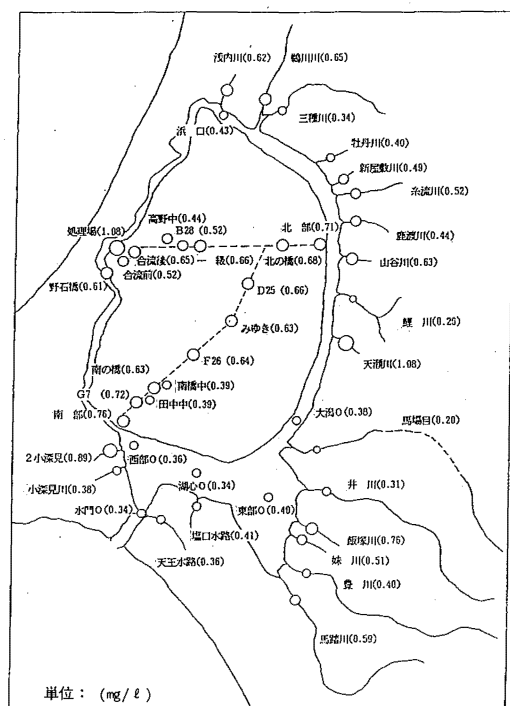


図-3.4.3 有機態窒素の平均濃度  
(57~61年度)

mg/l) がやや高い。

#### (5) 全リン (T-P)

経年変化を見ると(図-3.5.1)、調整池内での年平均値は0.04~0.10mg/lの範囲にあり、東部0m、湖心0mに比して西部0mがやや高く、更に防潮水門が高い傾向にある(57~63年度の平均値は、それぞれ0.06、0.06、0.07、0.08mg/l)。調整池内のいずれの地点も海水流入のあった62年度には平均濃度が低下し、63年度に再び高くなっているが、変動の傾向としては、ほぼ横ばいの状態にある。

馬踏川橋の濃度は、調整池内よりもやや高く(0.07~0.11mg/l)、南部排水機場での濃度は極めて高い状態にある(0.38~0.55mg/l)。このことについては前報(当センター年報

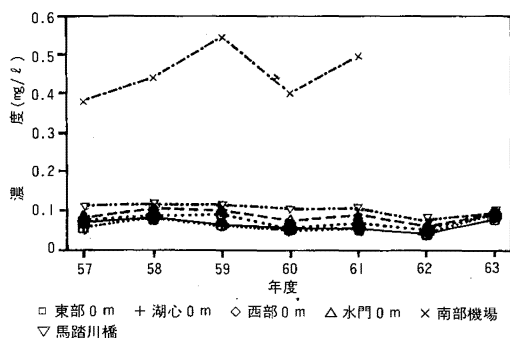


図-3.5.1 T-Pの経年変化(地点別)

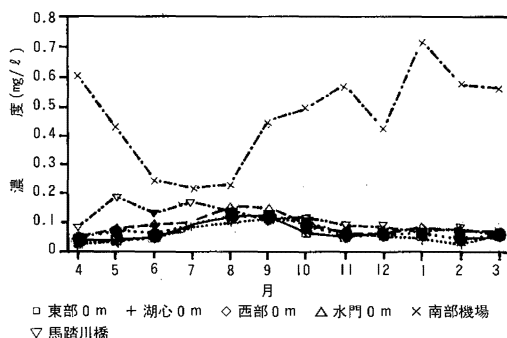


図-3.5.3 T-Pの経月変化(地点別)

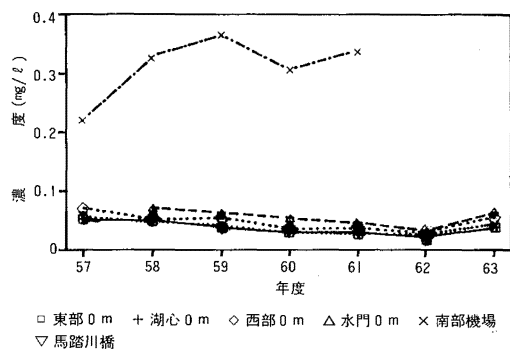


図-3.5.2 T-P(溶存態)の経年変化  
(地点別)

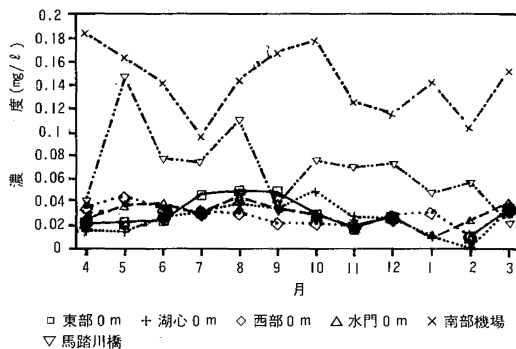


図-3.5.4 pT-Pの経月変化(地点別)

第16号)で報告したように、南の橋中排水路からのリン濃度の高い(昭和60~61年度平均で1.57mg/l)排水の流入に因るところが大きい。

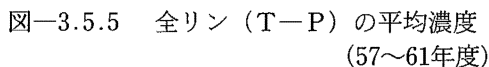
溶存態の濃度変化を見ても(図-3.5.2)同様の傾向が見られる。

経月変化を見ると(図-3.5.3)、調整池内では月平均値は0.02~0.15mg/lの範囲にあって8~10月にピークが見られる。馬踏川橋では5月と7月にピークが見られ(それぞれ0.18、0.16mg/l)、南部排水機場では大量の農業排水の流入する灌漑期の5月以降全窒素の場合と同様濃度が低下し、6~8月は最も低くなる(0.21~0.24mg/l)が、排水の流入の少なくなる9月以降再び高い濃度で推移する

(0.42~0.72mg/l)。

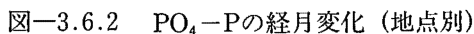
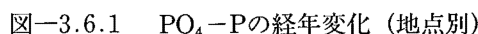
また、全リンから溶存態全リンを減じたものを懸濁態全リン(pT-P)として経月変化を見ると(図-3.5.4)、調整池東部0mでは7~9月に0.04mg/l、湖心0mでは7~10月に0.03~0.04mg/lと高い値を示す。西部0mでは5月に0.04mg/l、水門0mでは3月と8月に0.04mg/lと値が高くなる。馬踏川橋では5月と8月に高い値が見られる(それぞれ0.14、0.11mg/l)。南部排水機場では4月と10月に高い値が見られ(それぞれ0.18、0.17mg/l)、灌漑期の7月には値が大きく低下する(0.09mg/l)。クロロフィルaの分析結果を見ると、南部排水機場では3月(72.0 $\mu$ g/l)と9、10月(それぞれ97.0、84.3 $\mu$ g/l)に高い

周辺の水質測定地点の全リンの平均濃度を見ると（図一3.5.5）、八郎湖内は浜口排水機場、野石橋、大潟橋を含めて濃度は低い。河川・水路については、馬場目川（0.04mg/ℓ）、牡丹川（0.04mg/ℓ）、鯉川（0.05mg/ℓ）、三種川（0.06mg/ℓ）、塩口水路（0.06mg/ℓ）、高野中排水路（0.06mg/ℓ）以外は調整池内よりも高い。中でも南の橋中排水路（1.57mg/ℓ）、大潟村終末処理場排水（0.86mg/ℓ）、第二小深見川（0.59mg/ℓ）などで高い値が見られる。とりわけ中央幹線排水路に流入する南の橋中排水路の濃度は高く、中央幹線排水路の南の橋から南部排水機場までのリン濃度を高める大きな要因となっている。



経年変化を見ると（図—3.6.1）、調整池内の年平均値は0.01～0.06mg/ℓの範囲にあり、いずれの地点においても62年度にやや濃度が低下しているが、これは海水の流入によるものと思われる。また、調整池内の4地点の中では防潮水門0mが最も高く、次いで西部0m、湖心0m、東部0mの順（57～63年度の平均値はそれぞれ0.04、0.03、0.02、0.02mg/ℓ）になっている。

経月変化を見ると (図-3.6.2)、調整池内



の月平均値は0.01~0.09mg/ℓの範囲にあり、いずれの地点においても8~9月に濃度が高くなる。高村<sup>4)</sup>が指摘しているように八郎湖でもラン藻類の発生する夏季にオルソリン酸が増加し、亜硝酸態と硝酸態窒素が減少する傾向が見られる。

南部排水機場では全リンの場合と同様灌漑期の5~8月に大きく濃度が低下する(0.10

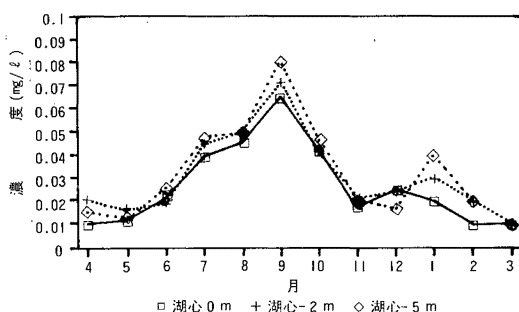


図-3.6.3 PO<sub>4</sub>-Pの経月変化(湖心)

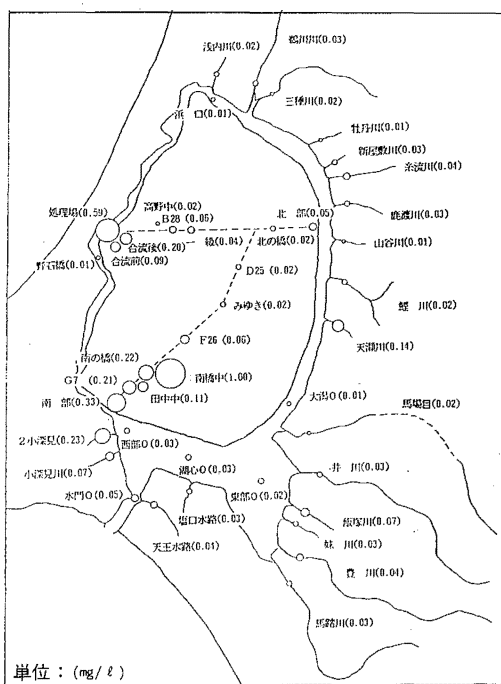


図-3.6.4 リン酸態リンの平均濃度(57~61年度)

~0.13mg/ℓ)が、他の月は極めて高い濃度(0.27~0.63mg/ℓ)で推移している。

深度別の濃度を見ると(図-3.6.3)、6月から11月にかけては深さを増すほど濃度が高くなる傾向が見られる。要因の1つとしては、アンモニア態窒素の場合と同様貧酸素状態形成による湖底からの溶出が考えられる。

周辺の平均濃度を見ると(図-3.6.4)、全リンの場合と同様の傾向が見られる。特に南の橋中排水路(1.00mg/ℓ)、大潟村終末処理場排水(0.59mg/ℓ)の高い濃度が目につく。

#### (7) クロロフィルa (Chl. a)

水界において、植物に特有なクロロフィル(葉緑素)を測定することは、植物プランクトンの現存量を把握するうえで有効な手段である。

経年変化を見ると(図-3.7.1)、調整池内の年平均濃度は8.3~33.7μg/ℓの範囲にあり、傾向としてはほぼ横ばい状態にあるが、63年度の湖心0m、東部0mでやや高くなっている。

馬踏川橋の濃度は、流れによるためか低め(6.0~12.2μg/ℓ)に推移し、南部排水機場の値は、調整池内の2倍の濃度(31.9~50.5μg/ℓ)で推移している。ちなみに、霞ヶ浦の中心部におけるクロロフィルaの平均濃度(昭和58~61年度)は44.0μg/ℓ、霞ヶ浦高浜入湾奥部で130.7μg/ℓである<sup>1)</sup>。

経月変化を見ると(図-3.7.2)、調整池内の月平均値は1.4~36.4μg/ℓの範囲にあり、いずれの地点においても8~10月と3月にピークが見られる。夏季のピークはラン藻類のアナベナ(*Anabaena spiroides*)やミクロキスティス(*Microcystis aeruginosa*)の増殖によるものであり<sup>5)</sup>、3月のピークはケイ藻類によるものと思われる。

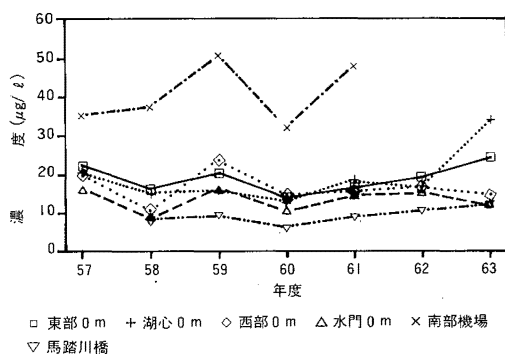


図-3.7.1 Chl.aの経年変化(地点別)

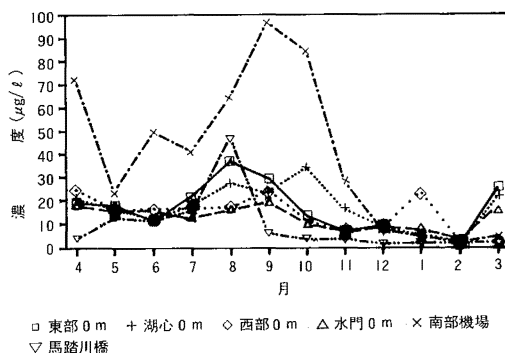


図-3.7.2 Chl.aの経月変化(地点別)

馬踏川橋では8月 ( $46.6\mu\text{g}/\text{l}$ ) に、南部排水機場では3月 ( $72.0\mu\text{g}/\text{l}$ ) と農業排水の流入が減少する9、10月 (それぞれ $97.0$ 、 $84.3\mu\text{g}/\text{l}$ ) にピークが見られる。

昭和59年のクロロフィルa量の推移を図-3.7.3に示すが、アナベナの個体数の増加と共にクロロフィルa量も増加し、8月17日にアナベナ個体数が $3,500$ 個体/mlと最も増加した時点で、クロロフィルa量も $125.3\mu\text{g}/\text{l}$ と最も高い濃度を記録している。

深度別の濃度を見ると(図-3.7.4)、植物プランクトンの分布の違いにより、表層で高く下層ほど低くなっている。

周辺部の平均濃度を見ると(図-3.7.5)、幹線排水路 ( $11.1\sim 40.6\mu\text{g}/\text{l}$ ) と調整池内

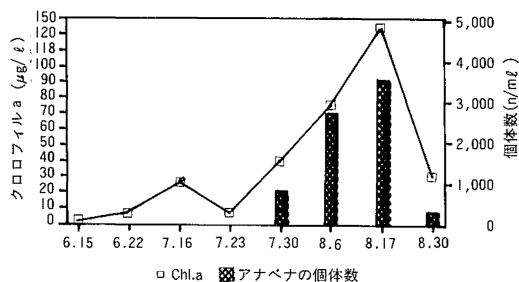


図-3.7.3 Chl.a量とアナベナ個体数の変化(昭和59年度・東部0m)

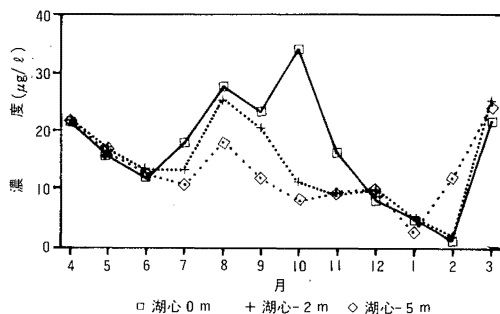


図-3.7.4 Chl.aの経月変化(湖心)

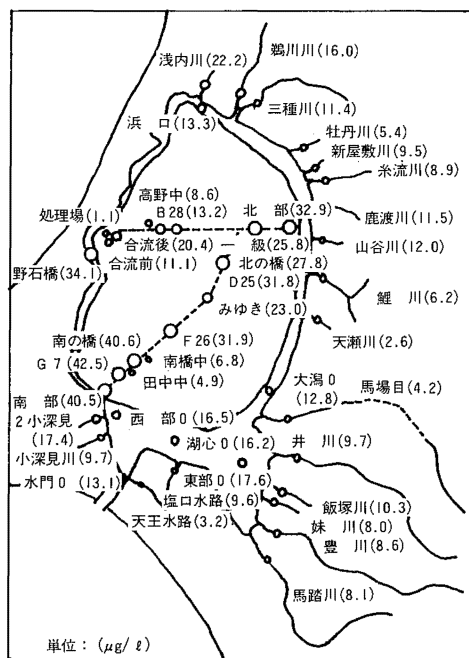


図-3.7.5 クロロフィルaの平均濃度(57-61年度)

(16.2~17.6 $\mu\text{g}/\ell$ )そして野石橋 (34.1 $\mu\text{g}/\ell$ )でやや高くなっている。これらの地点は、比較的流れが少なく内部生産が起こり易い状態にあるためと思われる。

#### (8) 化学的酸素要求量 (COD)

経年変化を見ると(図-3.8.1)、調整池内の年平均値は3.9~6.1 $\text{mg}/\ell$ の範囲で変動しており、年度による増減はクロロフィルaの場合と類似している。馬踏川橋は、61年度以降やや濃度が低下するもののかなり高い濃度(5.7~8.6 $\text{mg}/\ell$ )を示している。南部排水機場の濃度もかなり高い(7.9~9.5 $\text{mg}/\ell$ )。

経月変化を見ると(図-3.8.2)、調整池内の月平均値は2.2~7.5 $\text{mg}/\ell$ の範囲にあり、クロロフィルaの場合と同様8~9月と3月にピークが見られる。馬踏川橋はいずれの月

も高めに推移しているが、特に6、7月に高い値(ともに11 $\text{mg}/\ell$ )を示している。南部排水機場の濃度も比較的高く(5.7~12 $\text{mg}/\ell$ )推移し、灌漑期終了後の10月にピークが現れる。

また、溶存態のCODについても同様のピークが見られる(図-3.8.3)。

深度別の濃度を見ると(図-3.8.4)、-5mの値は夏季には表層部に比べてやや低めに推移し、逆に冬季は表層部より高く推移している。

周辺部の平均濃度を見ると(図-3.8.5)、馬場目川(3.0 $\text{mg}/\ell$ )、鯉川(3.9 $\text{mg}/\ell$ )を除いてはいずれの地点においても調整池内より濃度が高く、最大値はD25の10 $\text{mg}/\ell$ であった。

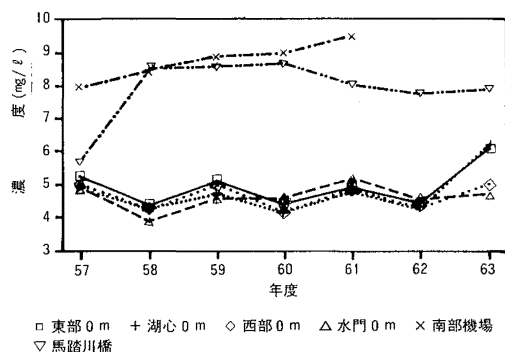


図-3.8.1 CODの経年変化(地点別)

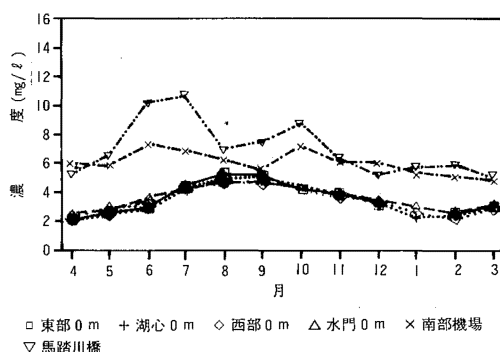


図-3.8.3 COD(溶存態)の経月変化(地点別)

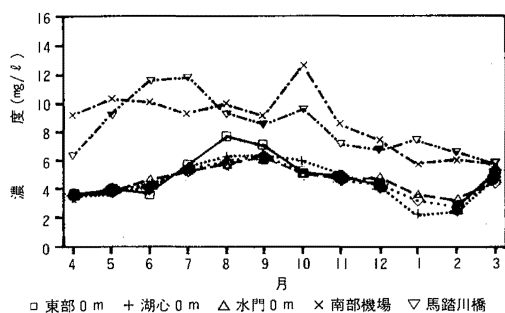


図-3.8.2 CODの経月変化(地点別)

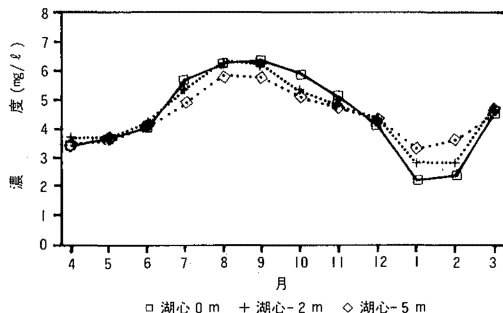


図-3.8.4 CODの経月変化(湖心)

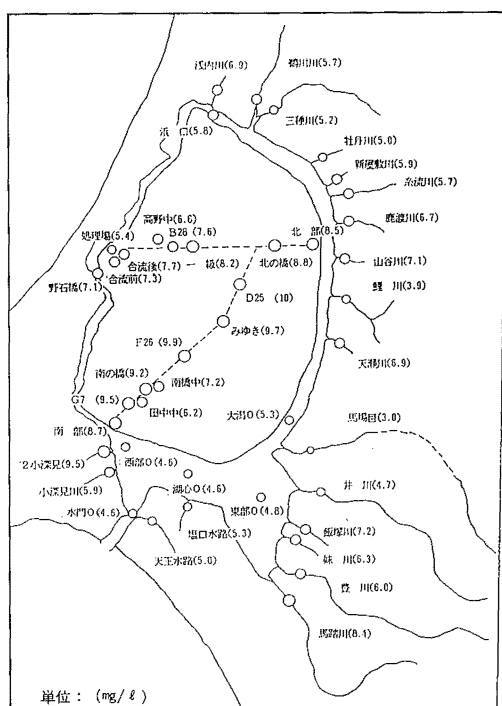


図-3.8.5 CODの平均濃度  
(57~61年度)

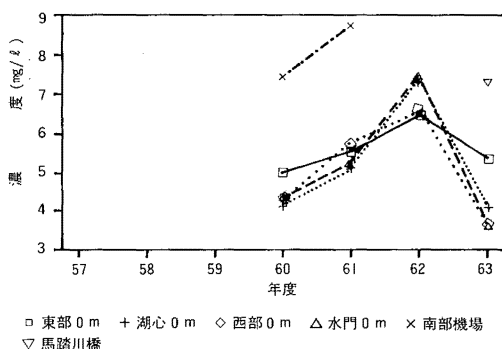


図-3.9.1 TOCの経年変化(地点別)

### (9) 有機態炭素 (TOC)

測定結果は60年度以降のものであるが、調整池内の経年変化を見ると(図-3.9.1)、年平均値は3.6~7.5mg/lの範囲にあり、4点とも62年度に高い濃度を示し、63年度に大幅に減少している。馬踏川橋の結果は63年度分だけであるが、かなり高い値(7.3mg/l)を示し

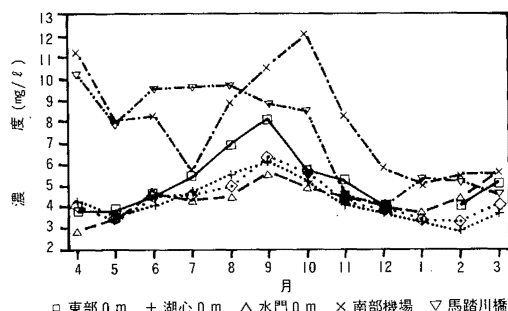


図-3.9.2 TOCの経月変化(地点別)

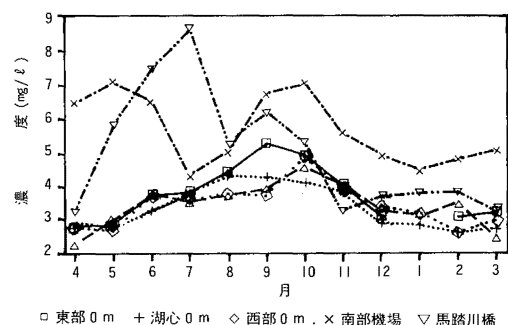


図-3.9.3 TOC(溶存態)の経月変化  
(地点別)

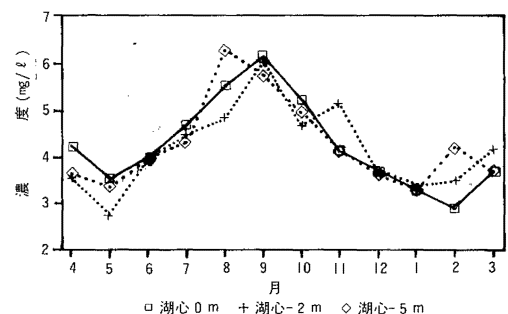


図-3.9.4 TOCの経月変化(湖心)

ている。南部排水機場も60、61年度の結果だけではあるがかなり濃度が高い(7.4~8.7mg/l)。

経月変化を見ると(図-3.9.2)、調整池内の月平均値は2.9~8.1mg/lの範囲にあり、9月には高いピーク(5.6~8.1mg/l)、3月にはやや小さいピーク(3.7~5.6mg/l)が見られ

る。これらは、藻類増殖の結果によるものと考えられる。馬踏川橋では4月に最も濃度が高くなり(10.3mg/l)、以降10月まで高い値が続く(7.9~9.7mg/l)。南部排水場では、4月と10月に高いピーク(それぞれ11.2、12.0mg/l)が見られる。

溶存態のTOCについても、概ね同様の傾向が見られる(図-3.9.3)。馬踏川橋の4月の溶存態の濃度は未ろ過の濃度と比べてかなり低い(3.2mg/l)ので、TOCの主成分はほとんど懸濁物中に含まれるものであったと考えられる。

深度別の濃度に大きな違いは認められない(図-3.9.4)。

## 4 解 析

### (1) 修正カールソン富栄養化状態指数

1981年、相崎らによって提案された修正カールソン富栄養化状態指数(TSI)<sup>9)</sup>を八郎湖に適用して、経年変化をみた。透明度の値を基にしたためたTSI(SD)を図-4.1.1に、クロロフィルaの値を基に求めたTSI(Chl)を図-4.1.2に、全リンの値を基にして求めたTSI(T-P)を図-4.1.3に示す。これを見ると、TSI(SD)は58年度に値が低下したが、その後62年度にかけて徐々に値が高くなってきている。TSI(Chl)は57年度以降ほぼ横ばいの状態で推移しているが、TSI(T-P)は、58年度から62年度にかけて徐々に値が低下している。

62年度を除いた昭和57~63年度の湖心0m

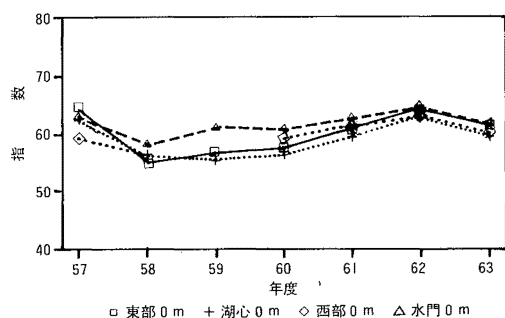


図-4.1.1 調整池内のTSI(SD)の経年変化(地点別)

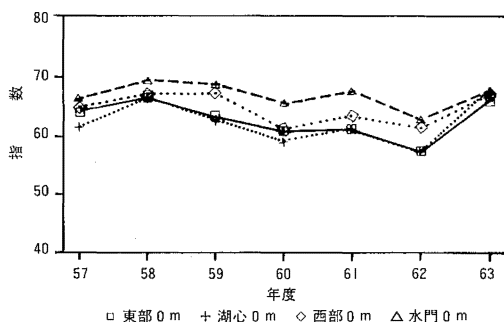


図-4.1.3 調整池内のTSI(T-P)の経年変化(地点別)

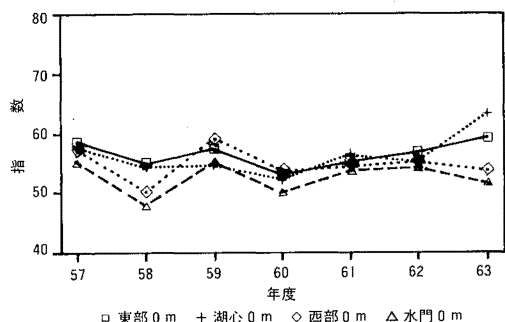


図-4.1.2 調整池内のTSI(Chl)の経年変化(地点別)

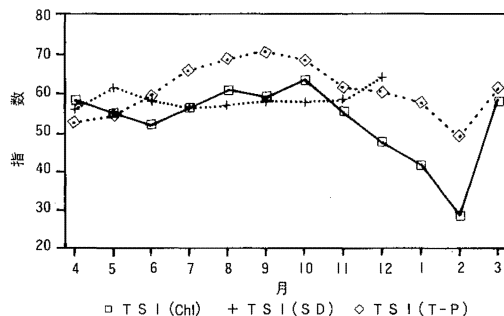
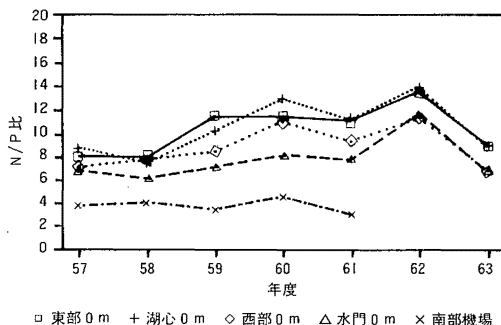


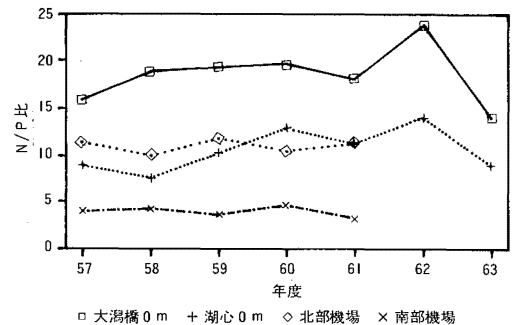
図-4.1.4 TSIの経月変化(湖心0m)

表—4.1.1 修正カールソン富栄養化状態指数(昭和63年度)

|            | TSI(SD) | TSI(Chl) | TSI(T-P) |
|------------|---------|----------|----------|
| 調整池 東 部 0m | 61.5    | 59.4     | 66.0     |
| 湖 心 0m     | 59.7    | 63.0     | 67.7     |
| 調整池 西 部 0m | 60.2    | 53.7     | 66.7     |
| 防 潮 水 門 0m | 61.6    | 51.7     | 67.7     |
| 平 均        | 60.7    | 61.6     | 67.1     |



図—4.2.1 N/P比の経年変化(地点別)



図—4.2.2 N/P比の経年変化(地点別)

における経月変化を見ると(図—4.1.4)、クロロフィルaの値を基に求めたTSI(Chl)と全リンの値を基にして求めたTSI(T-P)とは、多少値を異にするもののほぼ同様の動きを示している。

調整池内の4点で求めた昭和63年度の値を表—4.1.1に示す。それぞれの状態指数の平均値を求めると、透明度の値を基にして求めたTSI(SD)は60.7、TSI(Chl)は56.9、TSI(T-P)は67.1である。修正TSI値によって淡水湖を区分した場合、富栄養湖はTSI(SD)が48~53以上、TSI(Chl)が42~54以上、TSI(T-P)が49~52以上とされているが、このいずれの値からも八郎湖は富栄養湖に区分される。

## (2) N/P比

調整型湖沼で、藻類増殖に必要なN/P比は10である<sup>7)</sup>ということから、調整池内4点と南部排水機場におけるN/P比を求めた。

経年変化を見ると(図—4.2.1)、湖内の4点はほぼ10前後の値を示しているが、防潮水門はPの比率が幾分高く従ってN/P比はやや低くなっている。南部排水機場の値はPの比率が高いことにより、N/P比としては4前後の値を示している。

更に湖心0m、南部排水機場、北部排水機場、大潟橋0mのN/P比を比較してみると(図—4.2.2)、北部排水機場のN/P比は10前後でほぼ調整池内と同程度の値を示し、南部排水機場とは異なる比率を示している。大潟

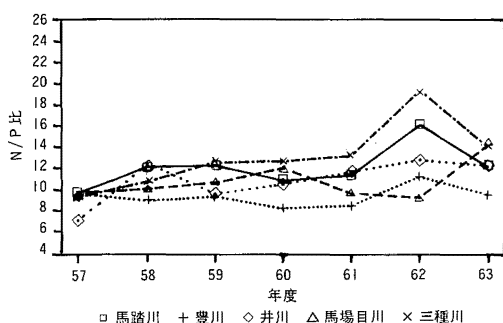


図-4.2.3 八郎湖周辺河川のN/P比の経年変化

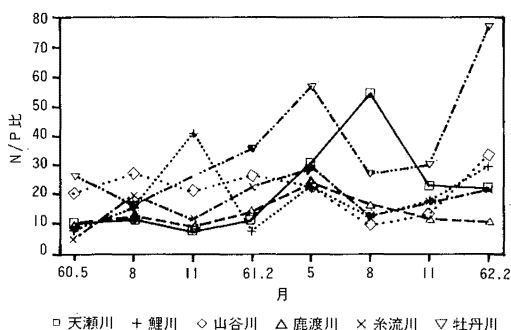


図-4.2.4 その他の流入河川のN/P比の変化

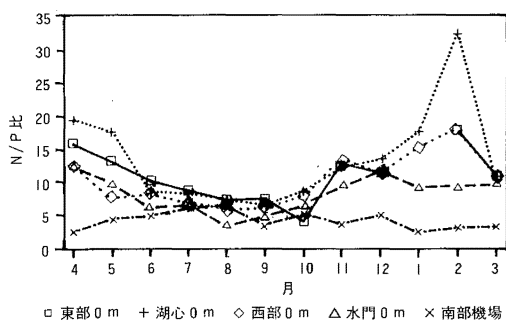


図-4.2.5 N/P比の経月変化(地点別)

橋0mでの値はかなり高い。

主要河川のN/P比をみると(図-4.2.3)、62年度の三種川と馬踏川で値がやや高くなっているが、概ね8~14の間で推移している。一方、その他の流入河川の値を見ると(図-4.2.4)、かなり高い値を示している

河川が見られる。従って、大潟橋0mの値についてはこれら河川の影響があるものと考えられる。

62年度を除く昭和57~63年度の経月変化を見ると(図-4.2.5)、調整池内では6~10月にN/P比が10以下になる。従ってこの時期にはNが制限因子となり、11~5月ではPが制限因子になるものと考えられる。

### (3) クロロフィルaといくつかの項目との相関

夏季から秋季にかけて起こるアオコの発生と各種項目の相関を見るため、湖心0mにおける57~61年の、7~11月のクロロフィルaと水温、COD、懸濁態COD(pCOD)、全窒素(T-N)、懸濁態全窒素(pT-N)、全リン(T-P)、懸濁態全リン(pT-P)との相関を求めた。

その結果を(図-4.2.1~7)に示す。最も相関の高かったのが懸濁態全リンで相関係数 $r(pT-P)=0.915$ 、次いでCOD、懸濁態COD、全リンがそれぞれ $r(COD)=0.885$ 、 $r(pCOD)=0.869$ 、 $r(T-P)=0.867$ となっており、更に懸濁態全窒素が $r(pT-N)=0.848$ 、水温が $r(W.T.)=0.784$ 、全窒素が $r(T-N)=0.777$ で、いずれの項目もクロロフィルaと高い相関を示しているが、窒素と比較してリンの方が高い相関を示す結果となっている。

### (4) 主成分分析

各測定地点の特徴を検討するために、参考として平成元年度のデータを用いて主成分分析を行った。

解析に用いた測定地点は、湖心0m、東部0m及び-3m、西部0m、水門0m、大潟橋0m、馬踏川橋、井川橋、豊川橋、及び竜馬橋(馬場目川)の10地点であり、項目は3。(1)~(9)に

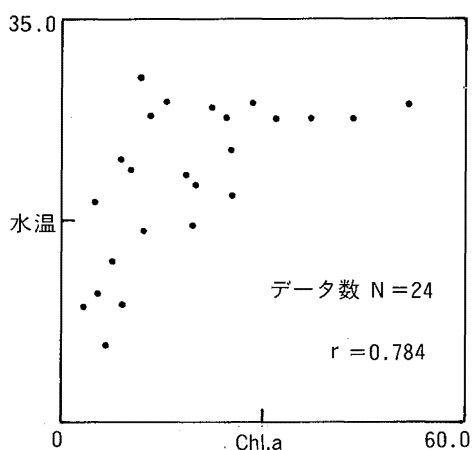


図-4.3.1 Chl.aと水温の散布図

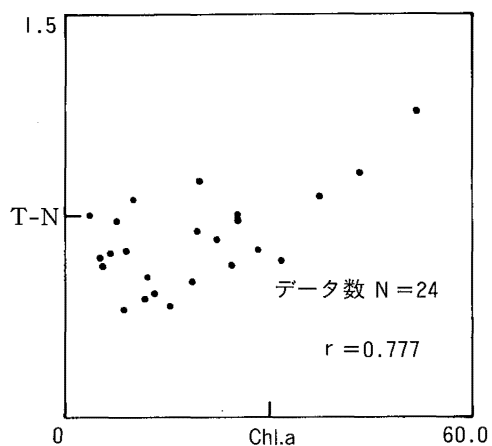


図-4.3.4 Chl.aとT-Nの散布図

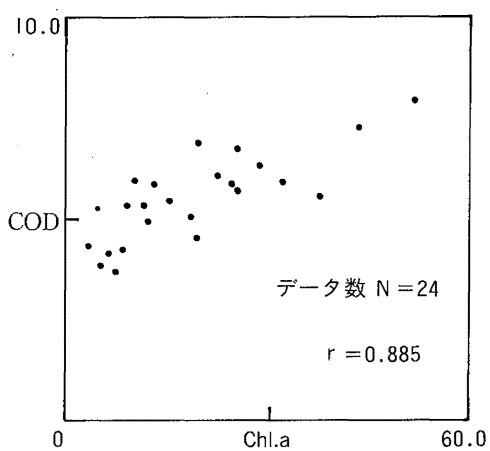


図-4.3.2 Chl.aとCODの散布図

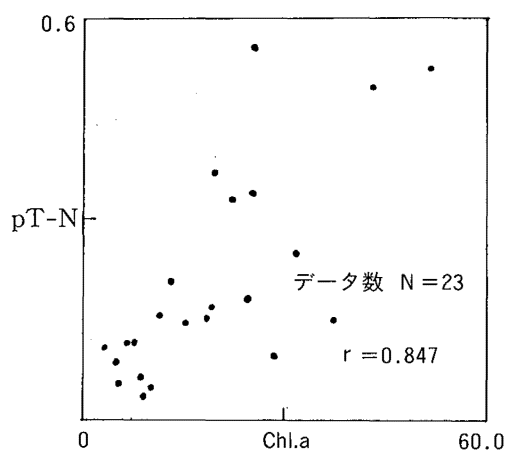


図-4.3.5 Chl.aとpT-Nの散布図

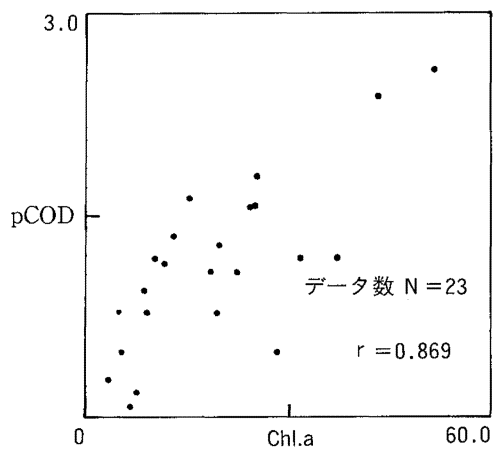


図-4.3.3 Chl.aとpCODの散布図

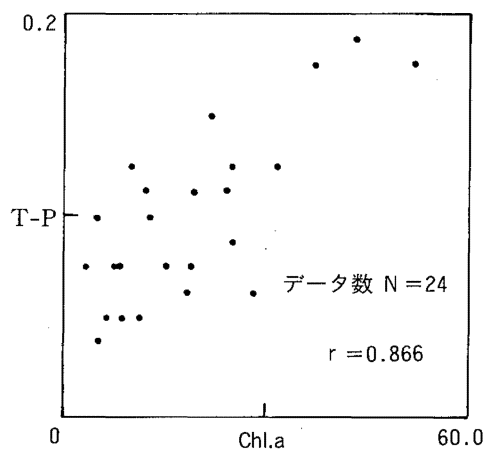
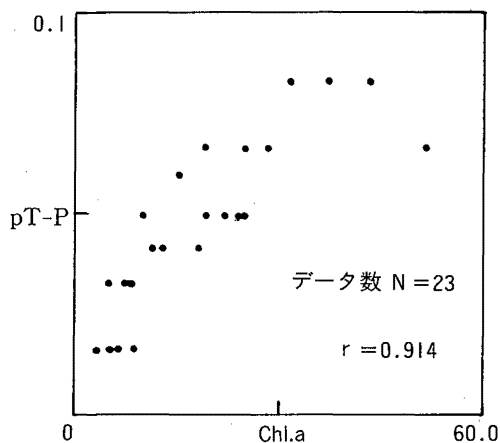
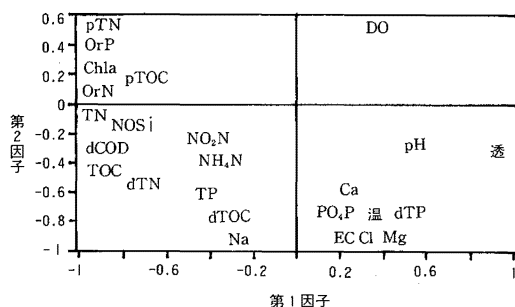


図-4.3.6 Chl.aとT-Pの散布図



図—4.3.7 Chl.aとpT-Pの散布図

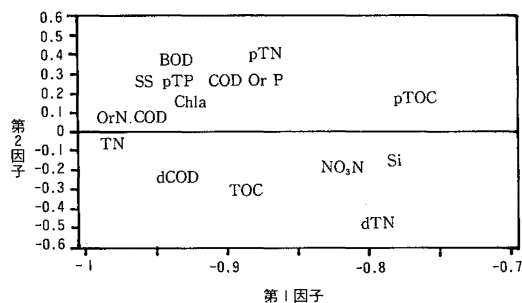


図—4.4.1 各項目の因子負荷量(第1、2因子)の散布図  
(平成元年7-11月の平均値)

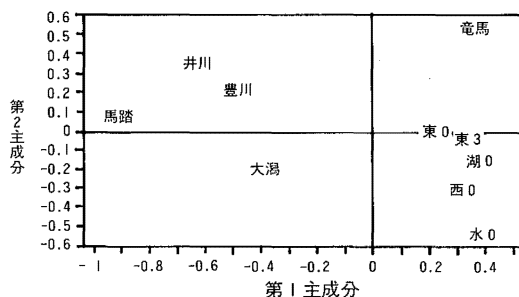
掲げた項目の他に水温、透視度、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、pH、SS、DO、BOD、Cl、Na、K、Ca、Mg、d-Siに更に全窒素、全リン、COD、TOCについては溶存態(d-)と懸濁態(p-)を加えた30項目である。データはアオコの発生する時期について分析を行う目的で、平成元年7月～11月の平均値を使用した。

その結果、各項目の因子負荷量(第1因子及び第2因子)は図—4.4.1のようになった。図—4.4.2はこれを一部拡大したものである。

これを見ると、第1因子についてはBOD、COD、SS、窒素、クロロフィルa等が負に大



図—4.4.2 各項目の因子負荷量(第1、2因子)の散布図2  
(平成元年7-11月の平均値)



図—4.4.3 各地点の因子得点  
(第1、2主成分)の散布図  
(平成元年7-11月の平均値)

きく、透視度が正に大きいことから、水質の総合的な汚濁の程度を表すものと推測され、その値が負に大きいほど総合的な汚濁の程度が高いと考えられる。

第2因子についてはNa、Cl等が負に大きい。これらの項目は大湊村内の排水路で高い値を示していることから、第2因子が負に大きいということは、大湊村内の農業排水に近い水質であると推測され、逆に正に大きいということは、他の発生源の影響をより強く受けている水質であると考えられる。

次に、各測定地点の因子得点(第1及び第2主成分)をプロットすると図—4.4.3のようになる。

さきに述べた因子負荷量の解釈を参考にして各地点の特徴を推定すると、次のようにな

る。

すなわち、図—4.4.3を見ると第1主成分は馬踏川橋、井川橋、豊川橋で負に大きく、八郎湖内の各測定地点(湖心、東部、西部、水門)はいずれも正であり、値もほぼ同程度である。このことは、馬踏川、井川、豊川等の八郎湖周辺河川は八郎湖よりも総合的には汚濁の程度が高く、八郎湖(特に調整池)内はおおむね汚濁の程度が同一であると考えられる。さらに、馬踏川は水質的には東部0 mに近くて汚濁の程度が高いと考えられ、次いで大潟橋0 m、豊川、井川の順で水質的に近く、井川、豊川、大潟橋0 mの順で汚濁の程度が高くなっていると考えられる。

また、第2主成分は水門0 m、西部0 m、大潟橋0 m等が負に大きく、竜馬橋、井川橋、豊川橋等が正に大きい。このことは、水門、西部、大潟橋等の水質は大潟村からの農業排水の影響をより大きく受けており、馬場目川、井川、豊川等はそれ以外の発生源(例えば生活排水等)の影響を含んでいると考えることができる。

### まとめ

(1)各態窒素の百分率を見ると、調整池内においては硝酸態窒素の比率は夏季に小さくなり、冬季に大きくなる。有機態窒素の比率は逆に、夏季に大きくなり、冬季に小さくなる。アンモニア態窒素の比率については大きな変化は見られないが、7月にやや値が大きくなる。

また、馬踏川橋では、調整池内に比較してアンモニア態窒素の占める比率が高くなっている。

(2)全リンの経年変化を見ると、調整池内のいずれの地点においても海水の流入した62年度

に年平均値が降下し、63年度に再び値が高くなっている。

また、八郎湖周辺部の全リン濃度の平均値を見ると、南の橋中排水路、大潟村終末処理場排水、第二小深見川で高い値が見られる。特に南の橋中排水路の濃度は高く、これが流入する中央幹線排水路の南の橋から南部排水機場までのリン濃度を高める大きな原因となっているものと思われる。

(3)Microcystisが水の華を形成している間、湖水中にはオルソリン剤が増加し、亜硝酸態と硝酸態窒素がなくなるという指摘の通り、八郎湖においても夏季に同様の現象が見られる。

(4)クロロフィルaについては、夏季と3月期にピークが見られる。夏季のピークはアナベナ、ミクロキスティス等のラン藻類の増殖によるもの、3月のピークは珪藻類の増殖によるものと思われる。

(5)調整池内のCODの経月変化を見ると、夏季と3月に濃度が高くなっており、藻類の増殖がその主な原因と考えられる。

(6)修正カーソルン富栄養化状態指数(TSI)を見ると、63年度の八郎湖では56.9～67.1の値を示し、八郎湖が富栄養湖であることを示している。

(7)7月～11月のクロロフィルaと水温、COD、懸濁態COD、全窒素、懸濁態全窒素、全リン、懸濁態全リンの間で相関をとってみると、相関の最も高かったのが懸濁態T-Pで相関係数は $r(T-P)=0.915$ 、次いでCOD、全リンがそれぞれ $r(COD)=0.885$ 、 $r(pCOD)=0.869$ 、 $r(T-p)=0.867$ と高い相関を示し、他の項目の相関係数も0.7以上で比較的高い相関を示した。

(8)各測定項目、測定地点について主成分分析

を行った。これによると、馬踏川、井川、豊川等の八郎湖周辺河川は八郎湖よりも総合的には汚濁の程度が高く、八郎湖(特に調整池)内はおおむね汚濁の程度が同一であると考えられる。

水質的には調整池東部 0 m は馬踏川に近く、防潮水門、調整池西部、大潟橋については、大潟村からの排水の影響を受けており、馬場目川、井川、豊川等はそれ以外の発生源(例えば生活排水)の影響を含んでいると考えられる。

### 参 考 文 献

- 1) 相崎守弘 他(1988) 自然浄化機能による水質改善に関する総合研究, 国立公害研究所研究資料, 第33号(B-33-'88)
- 2) 昭和57年度 環境庁委託業務結果報告書(非特定汚染源による汚染防止対策調査) 昭和58年3月, 秋田県
- 3) 伊達悦二 他(1989) 広島湾における炭素, 窒素, リンの循環, 水質汚濁研究, 第12巻, 第9号, 567~574
- 4) 高村典子(1988) ラン藻類による水の華, 特に *Microcystis* 属の生態学的研究の現状, 藻類, 第36巻, 65~79
- 5) 加藤君雄 他(1976) 八郎潟調整池のケイソウ類, 八郎潟調整池の生物相調査報告 昭和51年3月, 63~137
- 6) 相崎守弘 他(1981) 修正カールソン富栄養化状態指数の日本湖沼への適用と他の水質項目との関係, 国立公害研究所研究報告書, 第23号(R-23-'81), 115~122
- 7) 荻野泰夫 他(1989) 児島湾における水質汚濁物質の挙動に関する調査研究 第3報 児島湾及び流入河川の水質と流入負荷量について, 岡山県環境保健センター年報, 第