

湧水群を有する都市部湖沼における 水収支と汚染に関する研究

A Study on Pollution and Water Balance
in a Lake with Springs in an Urban Area

市川 勉*・星田 義治**・荒牧 昭二郎***・
桃田 聖孝****・金子 好雄*****

This paper reports on a preliminary study for improvement of a lake with springs in an urban area. Water balance, water quality and bottom sediment were examined. The flow rate was measured at 25 sample sites around the lake from Dec. 1991 to Nov. 1992. The water flow rate was ca. 520000m³/d during the experimental period and the spring rate about 90%. The water quality in this area is dependent on the springs. It is marked by a heigh concentration of No³-N and Po⁴-P. The amount of bottom sediment was ca. 10000m³ in KE-lake. The physical and chemical properties were simillar to Andosol.

Keywords: Spring, Bottom Sediment, Water Ballance, Water Quality

1. まえがき

K市中心部にあるS寺、E湖周辺は、観光資源、市民の憩いの場と同時に水資源を100%地下水に依存しているK市の上水道水源地として利用されている重要な場所である。この地域の上流は都市小河川があり、この小河川にS寺からの湧水が流れ込み、K川に合流するまでにE湖（KE湖、SE湖の二つに分れている）、河床および周辺からの湧水により流量が増加している。SE湖畔には地下水取水場があり、井戸を掘削して自噴する地下水を取水して、上水として利用している。近年、この地域の水質の悪化と水量の枯渇が心配され始めており、その対策として、地下水涵養の奨励、節水の励行、下水道の整備等の対策が行われている。また、E湖では湖底に大量のヘドロが堆積し、除去してもまたすぐに堆積してしまい、この対策にも頭を痛めているのが現状である。1991年11月から5年計画で浚渫が開始される。

本研究では、上流のS川からE湖下流に至るまでの各湧水地点、河床の湧水量、水位の経時的な測定と水質の測定を行った。また、KE湖におけるヘドロの堆積量の測定をすると共に、水質との関係について調査、検討を行った。この研究のデータは、浚渫による変動を見るための重要な基礎データになるものと思われる。

* 正会員 工修 九州東海大学助教授 工学部土木工学科 (〒862 熊本市渡鹿9-1-1) **** 農博 九州東海大学助教授 農学部畜産学科 (〒869-14 阿蘇群長陽村阿陽)
** 正会員 工博 九州東海大学教授 工学部土木工学科 *****正会員 工修 九州東海大学講師 工学部土木工学科 (〒862 熊本市渡鹿9-1-1)
***正会員 九州東海大学助教授 工学部土木工学科 (〒862 熊本市渡鹿9-1-1)

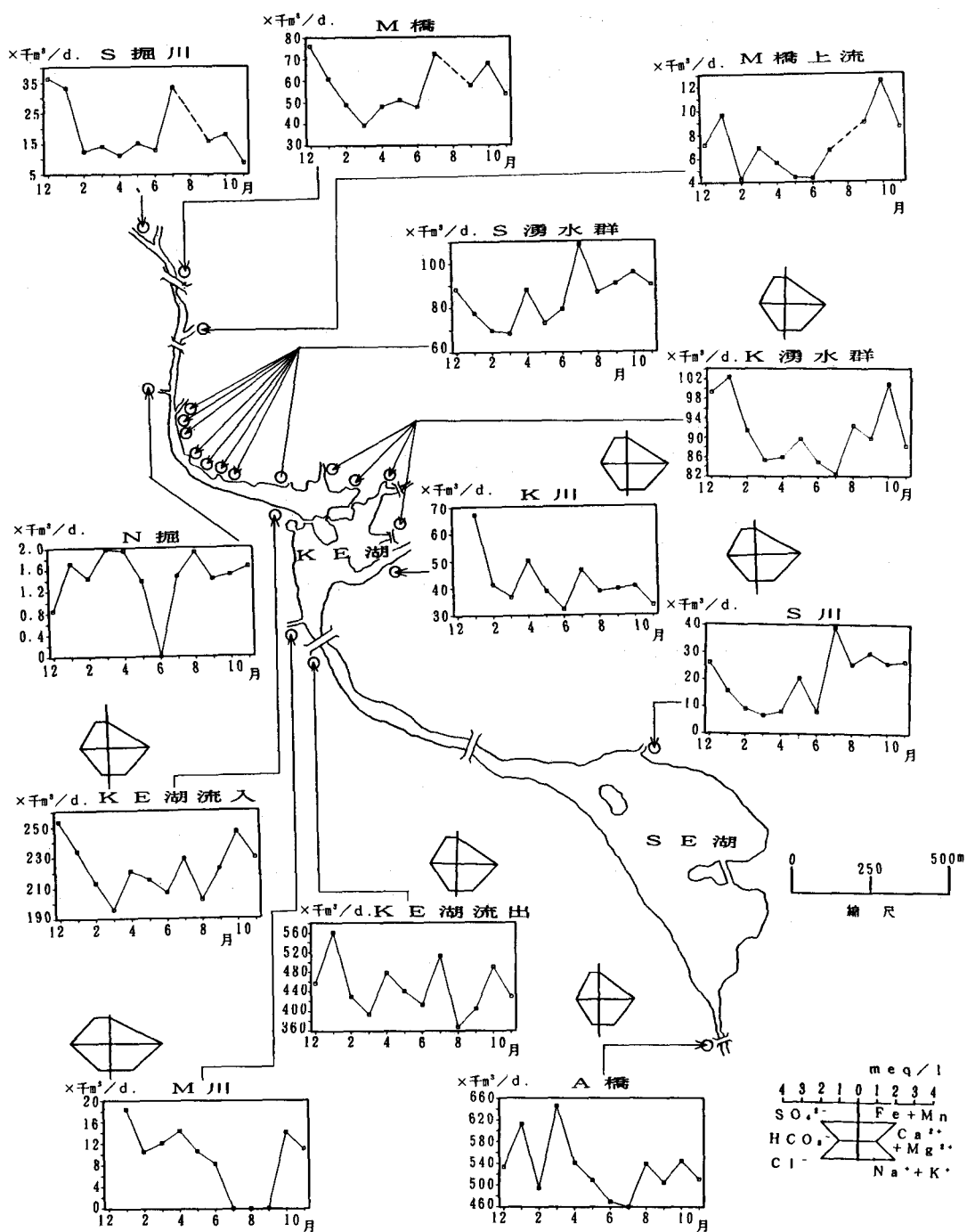


図-1 S 寺・E 湖における流量観測結果と水質
(流量で縦軸の大きさは詳しい変化を表すために各図で変えている。)

2. 対象地域の概要

本研究における対象地域はK市内南部市街地中にあるS寺公園からE湖周辺であり、数本の都市小河川が流入している。以下に周辺の地質構造と地下水および湧水の状態について述べる。

2. 1 地質構造

この周辺の地質は火山岩類が基岩であり、その上に更新世に噴火によって堆積した火砕流堆積物が厚く分布しており、その活動休止中に堆積したシルトや粘土の堆積物、さらに溶岩の噴出物がみられる。その上に更新世の終わりに海退に伴う厚い砂礫層の堆積物があり、現在の地層を形成し、基岩より上部の堆積物は厚さ100m以上に及んでいる。¹⁾これらの堆積物の大部分はシルトや粘土及び溶岩の中心部を除いて透水性がよく、厚い帯水層となっている。また、これらの堆積物は、北東から南西へ緩く傾斜した構造を有し、この付近一帯に降った降雨は地下に浸透し、厚い地下水層となり、ゆるい南西へ傾いた地質構造にしたがって流下し、台地の南西部端部に位置するE湖において湧水となり多量の水が涌き出している。

2. 2 地下水と湧水²⁾

浅層の地下水位が高く、E湖周辺では水位が低くなり、地下水がE湖およびその周辺で湧出しているものと考えられている。また、深層の地下水位は浅層の地下水位よりも1～2m高くなっている。地下水位の経年変化は昭和56年から57年の変動を見ると、変動量は最大2m程度と大きくないが、最低水位は6月、最高水位は10月に記録されている。湧水量については昭和59年、60年に県と市が共同で調査を行った結果では昭和59年10月に62.4万 m^3/d 、昭和61年5月に38.5万 m^3/d であった。

3. 流量と湧水量について

流量の観測ポイントは図-1に示すように流入口のS川、S寺下流部分、S湧水群、K湧水群、KE湖流入入口及び流出口、都市小河川流入入口、SE湖流出口であるA橋など計25ポイントである。これらの観測点で1年間にわたり各月初旬に1回、定期的に観測を行った結果を図-1に示している。観測方法は、各断面で1mおきに6割水深における流速を観測し、区分法によって流量を算定した。これらの結果より、全湧水量を計算すると図-2のようになる。図-2の全湧水量は流出口である

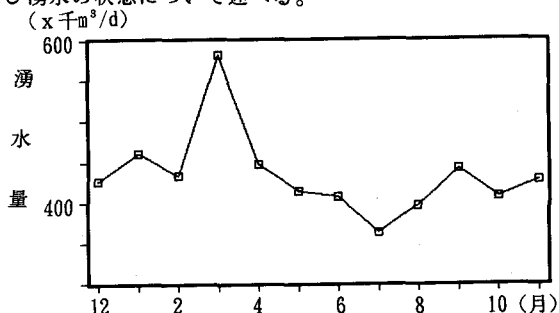


図-2 全湧水量

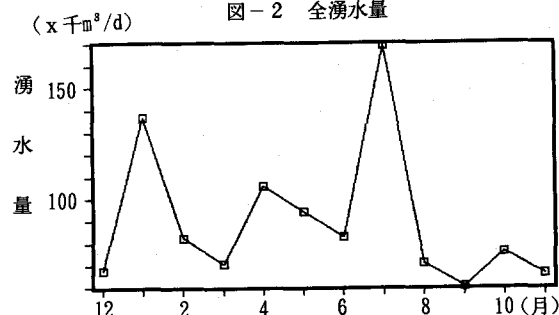


図-3 KE湖湧水量

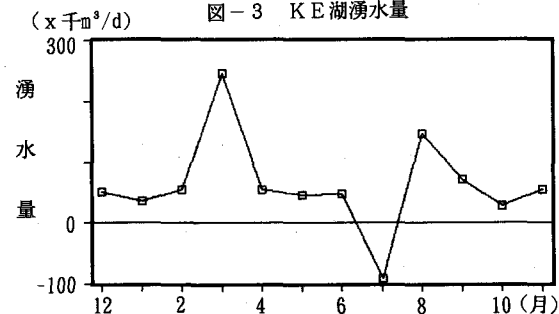


図-4 SE湖湧水量

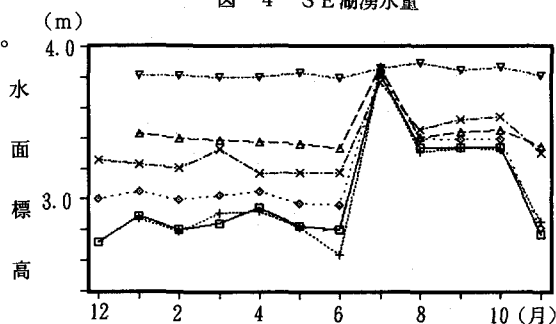


図-5 水位標高の経年変動

A橋の流量から流入河川であるSG川、M川、K川、N堀、S川の各流量を引いた値とした。したがって、この値はS寺公園及びE湖周辺の湧水群による全湧水量に相当する。図-1の流量、図-2の各区域および全湧水量の経時変化を見ると、いくつかの特徴的な事がわかる。図-1の流量で全体的な傾向は春期（3月から7月）に減少し、秋期（9月から12月）に増加している。これは、周辺地下水位の変動と一致する。しかし、SE湖から下流へ流出する流量は年平均約52万 m^3/d であり、そのうち湧水量は年間を通じて約45万 m^3/d となっている。前述の県および市が昭和59年、60年に行った結果とは違っている。この差は年度の気象状況の違いなども含め、考慮する必要がある。また、この一年を通じて各位置からの湧水量を見ると、図-3（KE湖湧水量）、図-4（SE湖湧水量）のようになる。これら一連の図で特異な湧水量が見られるのは、3月と7月である。3月は測定当日に明け方までまとまった降雨がありこの影響で、一見、SE湖のからの湧水量が増加している（図-1参照）ように見えるが、SE湖の遊水池としての効果によるものであり、SE湖に降雨が貯留され、徐々に下流に排水されている。このことは図-4のSE湖の湧水量が普段の5~6万 m^3/d から25万 m^3/d に上昇していることから読み取れる。また、7月は、UE湖からSE湖への流下量が約53万 m^3/d 、SE湖から下流への流出量が約46万 m^3/d と、他の月に比べてかなり違ってきており（図-1参照）、UE湖からの湧水量が負の値となっている。このことは水位の関係からも推定されるように、SE湖内に貯留されているものと考えられる。前月の6月下旬に下流のK川で灌漑用水のために堰高が大きくなり、水位が上昇したこと、観測当日の朝まで降雨があったことなど、外的要因があるが、観測間隔が一月と長いために、この原因については現在のところ定量的には定かではない。今後、水位の自記記録、流量の連続観測等の記録を用いて解析したい。図-5は、A橋（SE湖流出、□印）、S川（+印）、KE湖流出口（◇印）、K川（△印）、KE湖流入口（×印）、S堀川（上流部、▽印）における1991年12月から1992年11月の一年間の水位標高の変動である。図-5より6月まで上流から下流へとほぼ一定間隔であったのが6月下旬の灌漑期になってからUE湖、SE湖両湖の水位標高がほぼ同じ水位となっており、8月には一応の水位関係に落ちつくのがわかる。

4. 汚泥（以下ヘドロと称す）の分布状況と土質特性

4. 1 ヘドロの分布状況

ヘドロの分布状況を知るために、各測点間に1m間隔に目印をつけたロープを張り、所定の所で水深とヘドロの堆積厚を測定した。ヘドロの厚さの測定方法は、3m以上の長さの金属棒を押し込み、人力で押し込み可能な深さから水深を引いた長さをヘドロ厚と見なした。ヘドロの下部は黄褐色のローム層であり、この層は固結度が高く、人力で金属棒を深く貫入するのは容易でない事を数カ所で確認している。また、シンウォールサンプラーで得られた不攪乱土で確認した深さと金属棒で測定したヘドロ厚にさほどの違いが見られなかった事から精度的に問題はないと見なした。測定結果を図-6に示す。この図から等深線で囲まれる面積と層厚（ここでは等深線の平均）からヘドロの総容量を計算すると約10万トンとなり、湖水の単位面積あたり約1mのヘドロが堆積している結果が得られた。ヘドロの層厚の違いについては流速と関係あると考えられるが、過去に浚渫した経過もあり、今後の研究課題としたい。

4. 2 ヘドロの成分特性

ヘドロの物理特性を調べるために、表面の攪乱ヘドロの採取と4箇所での固定シンウォールサンプリングによる不攪乱土の採取を行った。シンウォールサンプリングから得られた不攪乱土は実験室での詳細な観察（色、臭い、手触り、構造・組織、混合物等の違い）から分離され、各々について物理試験（自然含水比、比重、粒度、液性限界、塑性限界試験）を行った。図-7にNo.4ボーリングポイントのヘドロの物理的性質を示した。これによると、堆積面から0.87mまでは黒一黒茶色のヘドロがあり、それ以下では黄褐色のローム層が見られた。黄褐色のローム層の堆積は、湧水している場所の崖の黄褐色ロームが湧水により徐々に侵食、運搬され堆積したものと考えられる。ヘドロはシルト分が多い事から湖沼の腐敗物のみによって堆積し

たものでなく、大部分は湖沼の外部から運ばれたものと考えられる。ヘドロの比重が約2.45と湖沼堆積物としては大きい事とヘドロの中に含まれる重鉱物を偏光顕微鏡で調べたところ輝石や紫蘇輝石が見られ、熊本平野の地表面に広く分布する黒ボク（有機質火山灰土）の重鉱物と類似している事³⁾より、ヘドロの

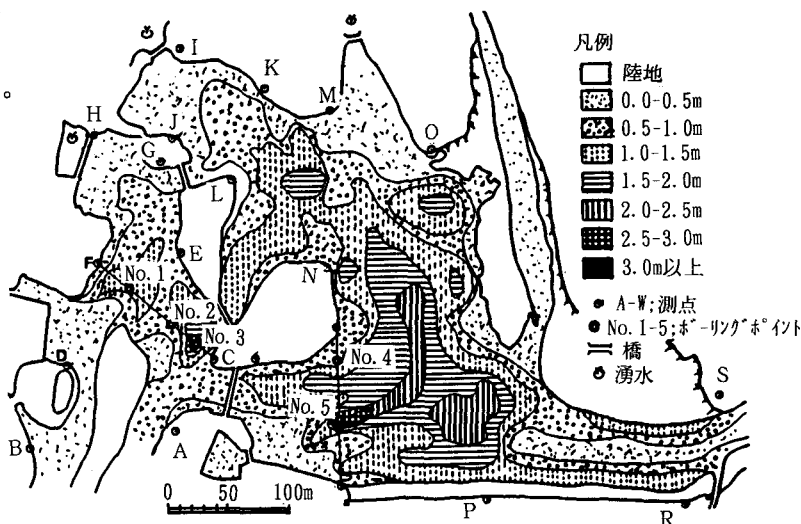


図-6 KE湖における湖底堆積物の堆積状況

表-1 ヘドロの化学性および物理性

	汚泥	黒ボク土壌 (表層)	下水汚泥
強熱減量(%)	11.16±0.00	—	27.34
pH (H ₂ O)	6.11±0.01	5.90	6.20
(KCl)	4.58±0.02	5.60	5.90
置換酸度	1.93±0.18	1.03	—
CEC (me)	27.53±0.43	17.03	13.90
全炭素(%)	10.12±0.14	12.13	9.79
全窒素含量(%)	17.42±0.26	20.90	—
全窒素(%)	0.33±0.01	0.53	1.45
C/N比	30.69±1.36	22.89	6.75
真比重	2.51±0.04	2.23	—

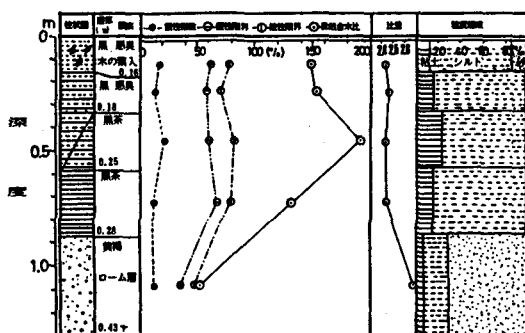


図-7 No.4ボーリング地点におけるヘドロ堆積状況

大部分が湖沼に流れ込む河川により地表面土が堆積し、それに湖沼の腐敗物が混じって生成されたものと思える。表面のヘドロは木の葉などの混入があり悪臭を有し、生活排水からの汚泥物質が多量に堆積している可能性が高い。攪乱ヘドロについては、物理特性の他に化学特性（表-1参照）も調べ、黒ボク土壌や下水汚泥と比較した⁴⁾。その結果、ヘドロの成分についても黒ボク土の影響を強く受けており、下水汚泥に比べて全窒素含量が低い傾向が見られた。

5. E湖流域の水質調査

E湖流域は、K市の市街地を流れる中小河川と、その流域の主に左岸側に数多く点在する湧水群を有する特徴ある水環境を形成している。このため、K市民の憩いの場として、また、貴重な動植物の生息場所として、その水環境を保全あるいは今後いっそう改善していくことが必要である。

そのためにも、E湖流域の水環境としての現状を確認し、今後の保全対策の一助とするため、数年間にわたる連続した水質調査を実施し、E湖流域の水質の特徴を明確にしなければならないと考える。本報告はその手始めとして、1991年11月から1992年8月末までに実施した水質調査の結果の一部について述べる。

水質調査は、KE湖の流入部からSE湖の流出部の区間の、主な流入河川の流入口付近と、E湖左岸側の湧水群からの流入口を中心に、図-1に示したKE湖流入部（左岸側と右岸側）、K湧水群（4箇所）K川流入口、M川流入口、KE湖流出口、S川流入口、SE湖流出口のA橋の11箇所から採水して分析を行った。水質分析の方法は、上水試験方法と下水試験方法に準じて行った。水質項目は水温、溶存酸素濃度（DO）

浮遊物質、大腸菌群、pH、電導度については現場で測定し、アルカリ度、酸度、BOD、COD、TOC、T-P、T-N、無機態窒素、溶存イオン、クロロフィル-a、全蒸発残留物についてはただちに分析室に持ち帰って測定した。図-1に溶存イオンのヘキサダイアグラムを示したが、その形状はほとんど測定点による変化が少なく、CaとMgの合計量が幾分多いKE湖とSE湖の水質が、E湖の主に左岸側の湧水群の水質に依存していることがわかる。図-8から図-11に6箇所の測定点でのBOD、TOC、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、T-Pの変化を示したが、BOD、TOCなどの有機物や窒素、リンなどの栄養塩類は、E湖の流入河川であるK川などの都市河川の水質の影響を受け易いが、流量的には既に述べたように、湧水量がおよそ90%を占めているため、KE流入部からSE湖流出部まで、湧水水質と大きな変化はみられない。また、図-10の硝酸性窒素については、K湧水群の湧水中に含まれる高い濃度の硝酸性窒素によりE湖全体が富栄養化していることを伺わせるように2mg/L程度の値ではほぼ安定している。全リンについてもK川の流入による変動は見られるものの、E湖流域の流出部であるA橋での高い値での安定する理由は、硝酸性窒素の場合と同様であると考えられる。近年、全国的にも様々な障害を起こしつつある地下水の富栄養化現象は、K県の報告書⁵⁾にも見られるが、E湖流域の水環境を水質に限って見てみると、流域の主要な水源である湧水水質の富栄養化は、保全対策を考える場合憂慮すべき現象であると思われる。

6. まとめ

S寺・E湖地域における水収支、水質、底質の各観測を行った結果、以下の事がわかった。

①1991年12月から1992年11月までの月1回の流量観測よりS寺・E湖周辺からの湧水量は約45万 m^3/d で全流下量の約90%程度と推定される。

②KE湖周辺の水質調査の結果、本湧水はNとPの濃度が高く、流域の富栄養化の原因となっている。

③KE湖水面下のヘドロ堆積量は約10万 m^3 と推定され、このヘドロの物理化学的特性から、黒ボク土の影響を強く受けている事がわかった。

本研究はK市のシンボルであるS寺・E湖の水環境が1992年11月より開始される浚渫工事によりどのような変遷をたどるかの基本データであり、今後継続して観測を続ける必要がある。

参考文献

- 1) 齊藤林次; "熊本市およびその周辺の地下地質"、熊本大学教養部紀要、自然科学編、第13号、1978。
- 2) 熊本県・熊本市; "熊本地域地下水調査報告書"、1986。
- 3) 荒牧昭二郎; "阿蘇火山灰土の理工学的研究"、熊本大学工学部研究報告、第22巻、第2号、1970。
- 4) 清水正元; "澄んだ湖をつくる"、朝日選書、東京。
- 5) 植木肇他; "熊本県の上水道水源の水質"、熊本県衛生公害研究所報、No. 19、1989。

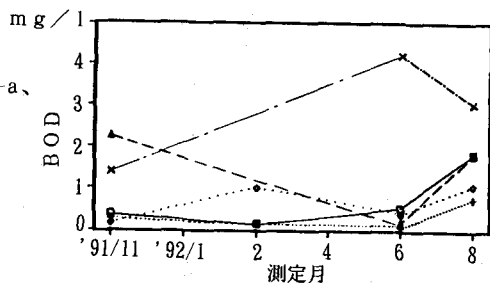


図-8 測定点別BODの変化

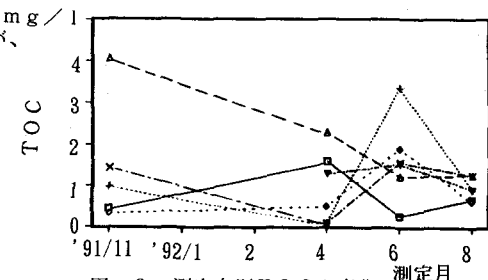


図-9 測定点別TOCの変化

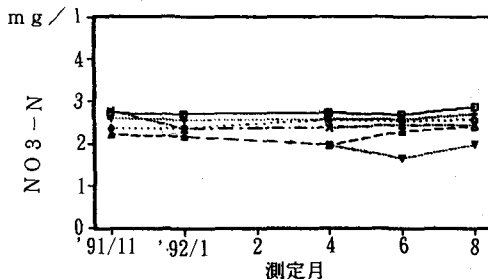


図-10 測定点別 $\text{NO}_3\text{-N}$ の変化

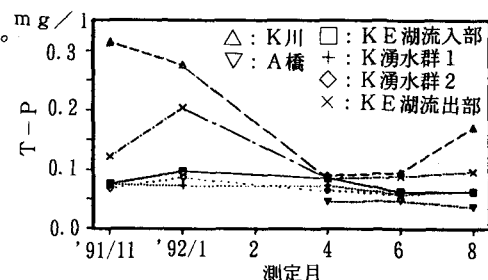


図-11 測定点別T-Pの変化