

湖山池の水質に与える流入河川の影響

猪迫耕二*・吉田 勲*・松井 毅**

A Study on Influence of Inflow Rivers on Water Quality of Lake Koyama

Koji INOSAKO*, Isao YOSHIDA*, Takeshi MATSUI**

Lakes are precious water resources as agricultural water, fishing fields, sight-seeing resources and water amenity fields. We have enjoyed them for a long time. But recently the water pollution represented by the eutrophication is proceeding in many lakes. As a result, they are losing these values. The eutrophication of lakes is caused by excess accumulation of nutrient rich salts. It is assumed that most salt which originates from gray water is transported to lakes by inflow rivers. Therefore it is important to grasp influence of inflow rivers on water quality of lakes for understanding the mechanism of water pollution of it.

In this study Lake Koyama and its 8 inflow rivers are selected as investigation objects. Principal water quality items are measured at 4 points in the lake and at 8 points in these rivers. COD, T-N and T-P particularly considered here are eutrophication materials.

It is clear that the concentrations of rivers are lower than these of Lake Koyama in this study. This suggests that inflow water doesn't directly pollute the lake and that inflow materials are used for productive action in it. That is, it appears that the pollution of Lake Koyama is caused by these products which don't flow out of it.

序 論

湖沼は飲料水や各種産業用水,あるいは観光,親水のための貴重な水資源である。この貴重な水資源が近年,栄養塩類の過剰蓄積による水質汚濁,いわゆる富栄養化現象によって,その価値を低下させている。

栄養塩類の過剰蓄積は周辺住民の生活雑排水によるも

のといわれている。富栄養化の主因が,湖沼の恩恵を最も受ける周辺住民の生活雑排水であることは皮肉なことといえよう。

現在,行政サイドを中心に,公共下水道,集落排水等の整備といった水質改善のための対策が推進されているが,その成果は十分でなく,未だ多くの地域で生活雑排水が未処理のまま自然水系に放出されている。このよう

* 鳥取大学農学部農林総合科学科生存環境科学講座

* Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

** (株)三祐コンサルタンツ 技術第4部

** Sanyu Consultants CO., LTD

な放出水が閉鎖性水域である湖沼に与える影響は極めて大きいと思われる。

そこで、本研究では、公共下水道の整備が進んでいない地域の湖沼として湖山池を対象とし、流入河川が湖沼の水質に与える影響について調査を行ったので報告する。

調査地区の概要

1. 湖山池の現況

今回調査対象に選んだ湖山池は、鳥取市の西部に位置し、水面積6.81km²、最大水深6.5m（平均水深2.8m）、貯水量1900万m³の規模の汽水湖である。

流入河川として福井川、長柄川、枝川、三山口川の4河川を有しており、その他にも生活雑排水や農業排水が排水路を通じて湖山池に流れ込んでいる。

流出河川は湖山川のみであり、千代川河口を通じて日本海に接している。湖山川には下流に樋門が設けられており、湖水の塩濃度に応じた開閉操作が行われている。

第1表 生活環境の保全に関する環境基準（S46.12.28、環境庁告示第59号）
湖沼（天然湖沼及び貯水量1,000万立方メートル以上の人工湖）

項目 類型	利用目的 の適用性	基 準 値				
		水素イオン 濃度 (pH)	化学的酸素 要求量(COD)	浮遊物質量 (SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数
AA	水道1級 水産1級 自然環境保全 及びA以下の欄 に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	1mg/ℓ 以下	1mg/ℓ 以下	7.5mg/ℓ 以下	50MPM/100ml 以下
A	水道2、3級 水産2級 水浴 及びB以下の欄 に掲げるもの	6.5 以上 8.5 以下	3mg/ℓ 以下	5mg/ℓ 以下	7.5mg/ℓ 以下	1,000MPM/100ml 以下
B	水道3級 工業用水1級 農業用水 及びCの欄に掲 げるもの	6.5 以上 8.5 以下	5mg/ℓ 以下	15mg/ℓ 以下	5mg/ℓ 以下	—
C	工業用水2級 自然環境保全	6.5 以上 8.5 以下	8mg/ℓ 以下	ごみ等の浮遊が 認められないこと	2mg/ℓ 以下	—

備考 水産1級、水産2級及び水産3級については当分の間、浮遊物質量の項目の基準値は適用しない。

(注) 利用目的の適用区分は次による。

- ① 自然環境保全：自然探勝等の環境の保全
- ② 水道1級：ろ過等による簡易な浄水操作を行うもの
 〳 2,3級：沈殿ろ過等による通常の浄水操作、又は、前処理等を伴う高度の浄水操作を行うもの
- ③ 水産1級：ヒメマス等貧栄養湖型の水域の水産生物用並びに水産2級及び水産3級の水産生物用
 〳 2級：サケ科魚類及びアユ等貧栄養湖型の水域の水産生物用並びに水産3級の水産生物用
 〳 3級：コイ、フナ等富栄養湖型の水域の水産生物用
- ④ 工業用水1級：沈殿等による通常の浄水操作を行うもの
 〳 2級：薬品注入等による高度の浄水操作、又は、特殊な浄水操作を行うもの
- ⑤ 環境保全：国民の日常生活（沿岸の遊歩等を含む。）において不快感を生じない限度

また、樋門が開かれている際に、日本海の潮位の関係により湖山川の河川水が逆に湖山池に流入する場合もある。このような湖水の複雑な流出過程が湖山池の水理学的特徴の一つといえる。

湖山池では夏季に藍藻類の *Microcystis* や *Anabaena* が大量発生し、水の華を形成する¹⁾。このことは、湖山池が富栄養湖であることを示している。

湖山池の富栄養化は昭和40年代以降の周辺地域の人口増加および生活様式の変化に起因する。周辺住民の人口増加および生活様式の変化は栄養塩類に富む生活雑排水を増加させた。それに対する公共下水道等の整備の遅れによって、生活雑排水は未処理のまま直接ないしは流入河川を通して間接的に湖山池に放流されることとなっ

た。

この状況は現在もなお改善されておらず、大部分の生活雑排水は未処理のまま放出されている。

2. 湖山池の環境基準

ところで、我が国では水域の水質管理の指標として水質汚濁に係わる環境基準（以後、環境基準と称する）が設定されている。環境基準は各水域ごとの類型指定制になっており、生活環境の保全に関する環境基準、人の健康の保護に関する環境基準、窒素およびリンに係わる環境基準等が設定されている。（以後、それぞれ生活環境基準、健康環境基準、NP環境基準と称する。）これらのうち湖沼における生活環境基準、NP環境基準をそれぞれTable 1, Table 2に示した。

第2表 全窒素、全りんに関する環境基準（S57.12.25、環境庁告示第140号）
湖沼（天然湖沼及び貯水量1,000万立方メートル以上の人工湖）

項目 類型	利用目的の適応性	基準値	
		全窒素	全りん
I	自然環境保全及びⅡ以下の欄に掲げるもの	0.1mg/ℓ以下	0.005mg/ℓ以下
Ⅱ	水道1, 2, 3級（特殊なものを除く） 水産1種 水浴及びⅢ以下の欄に掲げるもの	0.2mg/ℓ以下	0.01mg/ℓ以下
Ⅲ	水道3級（特殊なもの）及びⅣ以下の欄に掲げるもの	0.4mg/ℓ以下	0.03mg/ℓ以下
Ⅳ	水産2種及びⅤの欄に掲げるもの	0.6mg/ℓ以下	0.05mg/ℓ以下
Ⅴ	水産3種 工業用水 農業用水 環境保全	1mg/ℓ以下	0.1mg/ℓ以下

- 備考 1. 基準値は年間平均値とする。
2. 水域類型の指定は、湖沼植物プランクトンの著しい増殖が生じるおそれがある湖沼について行うものとし、全窒素の項目の基準は、全窒素が湖沼植物プランクトンの増殖の要因となる湖沼について適用する。
3. 農業用水については、全りんの項目の基準値は適用しない。

(注) 利用目的の適用区分は次による。

- ① 自然環境保全：自然探勝等の環境の保全
- ② 水道1級：ろ過等による簡易な浄水操作を行うもの
 - ◇ 2級：沈殿ろ過等による通常の浄水操作を行うもの
 - ◇ 3級：前処理等を伴う高度の浄水操作を行うもの（「特殊なもの」とは、臭気物質の除去が可能な特殊な浄水操作を行うものをいう。）
- ③ 水産1種：サケ科魚類及びアユ等ヒメマス等の水産生物用並びに水産2級及び水産3級の水産生物用
 - ◇ 2種：ワカサギ等の水産生物用及び水産3級の水産生物用
 - ◇ 3種：コイ、フナ等の水産生物用
- ④ 環境保全：国民の日常生活（沿岸の遊歩を含む。）において不快感を生じない限度

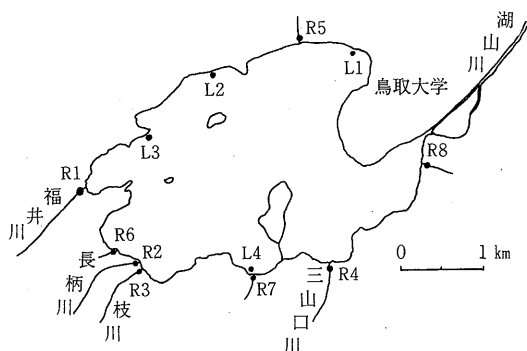
湖山池は生活環境基準において湖沼類型Aに指定されているが、NP環境基準については類型指定が為されていない。このことは富栄養化が問題視されている湖沼では妥当なことではない。

本報告では、生活環境基準の類型Aに相当すると思われるNP環境基準での類型に湖山池をあてはめ、湖山池の窒素およびリン濃度の現状を評価する基準とした。すなわち、湖山池の水質目標は水道2、3級、水産2級であることから、NP環境基準における類型はⅢとした。

なお、流入河川についてはいずれの環境基準にも類型指定されていない。

3. 湖山池の水質管理計画について

湖山池の水質汚濁の現状を鑑みて、鳥取県は平成3年



第1図 測定地点

度に湖山池水質管理計画²⁾を策定している。本計画では水質改善対策として、公共下水道、農業集落排水処理施設の整備促進、小型合併処理槽の普及等が掲げられており、対策実施の有無による将来の水質変動をシミュレーションモデルにより予測している。その結果、諸対策の実施による水質改善効果は期待できるものの、計画完了年度である平成12年における湖水水質は生活環境基準類型Aを満たすほどには改善されないと予測している。

測定地点と測定項目

1. 測定地点

Fig. 1に今回の調査における測定地点を示した。

図に示したようにL1~L4は湖山池沿岸であり、R1~R8は流入河川下流部である。本報告ではR1~R4までの実際の河川を特に河川水路と呼び、R5~R8までの排水路と合わせて流入河川もしくは河川と呼ぶこととする。Table 3に流入河川の現状をまとめている。

2. 測定項目

今回の測定項目は以下のとおりである。

水温、pH、塩化物イオン (Cl^-)、電気伝導度 (EC)、溶存酸素量 (DO)、生物化学的酸素要求量 (BOD)、化学的酸素要求量 (COD)、全窒素 (T-N)、アンモニア性窒素 (NH_4^+-N)、亜硝酸性窒素 (NO_2^-N)、硝酸性窒素 (NO_3^-N)、有機態窒素 (Org-N)、全リン (T-P)、流量。ただし、BOD、流量は流入河川についてのみ測定した。また、有機態窒素はT-Nから NH_4^+-N 、 NO_2^-N 、

第3表 測定した流入河川の現状

測定地点	記号	現況
福井川	R 1	鳥取市雁津を上流端とする全長4 kmの河川である。農業排水が流入していると思われる。
長柄川	R 2	鳥取市矢橋を上流端とする。集落からの雑排水および農業排水が上流部に流入している。
枝川	R 3	鳥取市吉岡を上流端とし、吉岡温泉街を経て松原地区で湖山池に流入する。全長2.3 km。生活雑排水が主と思われる。
三山口川	R 4	鳥取市三山口の箕上山を上流端とする全長4.6 kmの河川である。上流の三山口地区に農業集落排水処理施設が存在し、その処理水が流入している。また、高住にある工場からの排水も流入している。
堀越排水路	R 5	堀越地区の生活雑排水が流れている。本地区は、下水道整備計画の対象にはなっていない。
湖山町南3丁目排水路	R 6	布勢地区との境界付近を流れている。家庭雑排水、農業排水が主と思われる。この流域は下水道整備計画の対象となっていない。
良田排水路	R 7	実質的には小河川であり、集落からの生活雑排水ならびに農業排水が流入している。
金沢排水路	R 8	農業排水が主である。

NO₃⁻-Nを差し引いて求めた。

測定はいずれも表層水について行った。定量法はJIS K 0102に準じている。なお、測定日により測定項目は異なっている。

水質調査結果

1. 湖山池

1992年10月15日, 11月12日, 12月6日の3回にわたって測定を行った。

(1) 水温

10℃から20℃の範囲にあり, 季節的に変動している。測定地点間にあまり差はない。(Fig. 2)

(2) pH

6.7~7.1の範囲で安定しており, 測定地点による差もみられない。類型Aの条件は満たしている。(Fig. 3)

(3) Cl⁻

10, 11月は40~80mg/lで測定地点による差は小さい。一方, 12月の測定ではL1~L3ではほぼ315mg/lで一致しているのに対し, L4のみは約80mg/lと低くなっている。L4は良田排水路の河口付近であるため, 河川から

の流入水の影響を受けていると思われる。

これらの値は全般にこれまでの報告^{3,4,5)}に比し, 小さな値を示しており, 明らかに淡水化が進行しているといえる。(Fig. 4)

(4) EC

L4以外の測定地点では測定日における変動が大きい。(Fig. 5)

(5) DO

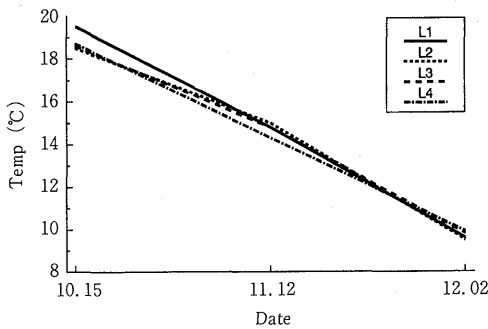
いずれの測定値も8~12mg/l範囲にあり, 類型Aの条件を満たしている。(Fig. 6)

(6) COD

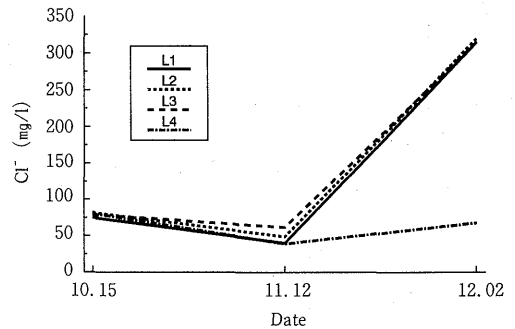
ほぼ5~8mg/lの範囲で安定している。これは生活環境基準類型Cの条件をかなり満たしている程度である。過去の報告^{3,4,5)}における同時期の測定値とほぼ同程度の値を示していることから, CODに関して顕著な悪化は認められない。そのことは同時に水質改善がなされていないことも示唆している。なお, 平均値は6.06mg/lであった。(Fig. 7)

(7) T-N

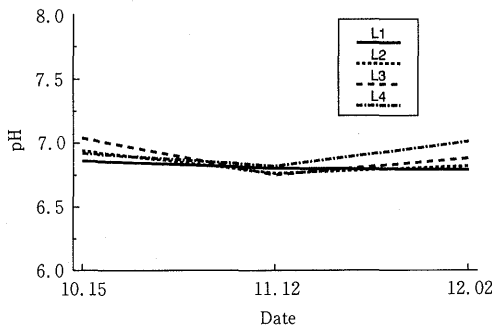
0.3~1.8mg/lの範囲で変動しており, 測定日, 測定



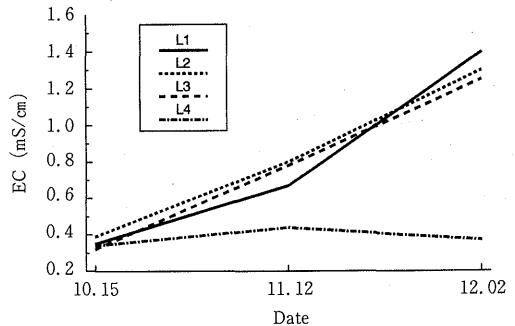
第2図 湖山池の水温



第4図 湖山池のCl⁻



第3図 湖山池のpH



第5図 湖山池のEC

地点による相違が比較的大きい。平均値は0.66mg/lであった。これはNP環境基準類型Vに相当する。(Fig. 8)

(8) 窒素構成比

湖水の窒素構成比を平均値を用いて表示した。10月、12月ではいずれも有機態窒素の濃度比が卓越して大きい。それに対し、11月の測定値では、アンモニア性窒素、硝酸性窒素および有機態窒素がほぼ同程度の濃度比となっていた。(Fig. 9)

(9) T-P

測定日、測定地点によって著しく変動しており、その範囲は0~0.4mg/lであった。平均すると0.12mg/lとなりNP環境基準類型Vの条件をも満たしていない。(Fig. 10)

(10) T-NとT-Pの濃度比

T-NとT-Pの濃度比をそれぞれの平均値より求めるとT-N:T-P=5.5:1となる。

Table 4に他の富栄養湖におけるT-N:T-Pを示した。これらの値と比較すると湖山池ではT-Pの濃度比が大きいといえる。

2. 流入河川

本報告では、流入河川水質の特徴をよく表している項

目、すなわち、pH、DO、BOD、COD、T-N、窒素構成比、T-P、T-NとT-Pの濃度比に着目した。なお、図中の実線は河川水路を示し、破線は排水路を示している。

(1) pH

6.5~8.0の間にあり、湖水よりも測定地点および測定日による変動が大きい。(Fig. 11)

(2) DO

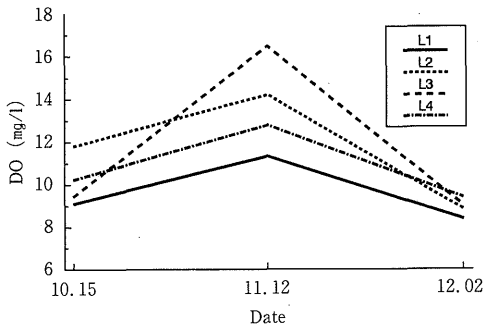
R1~R4の河川水路ではDOはほぼ5 mg/l 以上を保っている。それに対し、R5~R8の排水路では測定地点間の差が大きく、また、測定日による差も大きい。とりわけR5とR8では2 mg/l を下回る値も測定されており、かなり汚濁が進んでいるといえる。(Fig. 12)

(3) BOD

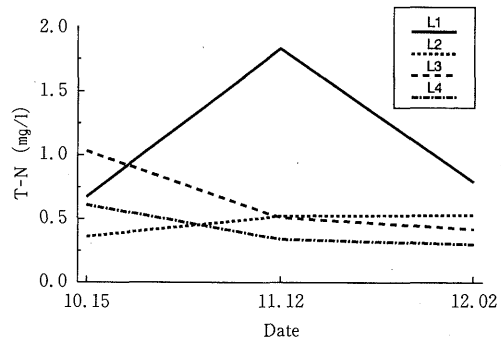
R5、R8は常に8 mg/l 以上の値を示しており、R5では最大で30mg/l 以上となっている。この両排水路の汚濁の程度は極めて大きい。それに対し、河川水路およびR6、R7では5 mg/l 以下で安定している。(Fig. 13)

(4) COD

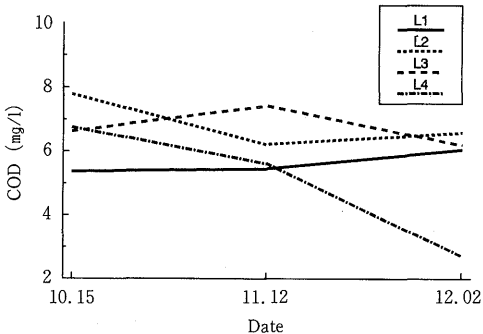
これをみるとR8では7月8日に30mg/l を越える非常に大きな値となっているものの、他の測定地点は3~



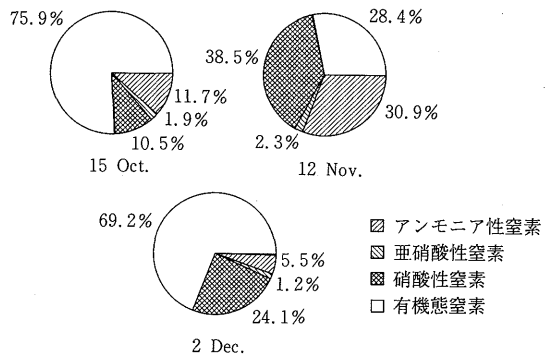
第6図 湖山池のDO



第8図 湖山池のT-N



第7図 湖山池のCOD



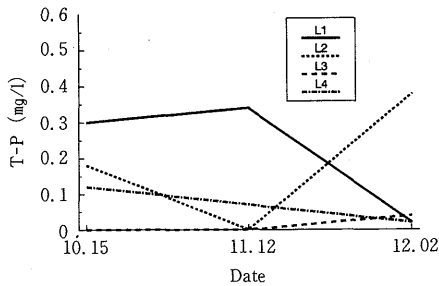
第9図 湖山池の窒素構成比

6 mg/l とほぼ同程度の値であった。全般にR5とR8が大きな値を示し、他の測定地点は 5 mg/l 以下で安定している。(Fig. 14)

(5) T-N

これによるとR5の値が全測定日を通して極めて大きい。R5では主として家庭からの生活雑排水のみが流れれており、測定値はこの事実を反映した結果となった。

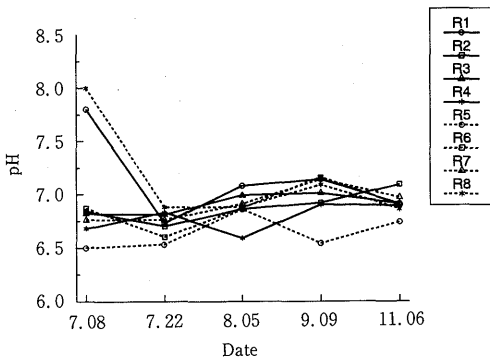
また、R8ではCOD同様7月8日のみ6.5mg/lを越える非常に大きな値を示した。R8では農業排水が主であることから、水田の追肥等の影響とも考えられるが明らかではない。



第10図 湖山池のT-P

第4表 他の富栄養湖におけるT-N, T-Pの濃度比

湖沼	T-N(mg/l)	T-P(mg/l)	T-N : T-P
東条湖	0.74	0.033	22.4 : 1
琵琶湖(南湖)	0.34	0.017	20.0 : 1
琵琶湖(北湖)	0.27	0.008	33.8 : 1
霞ヶ浦	1.30	0.074	17.6 : 1
諏訪湖	1.30	0.115	8.70 : 1
手賀沼	4.90	0.500	9.80 : 1



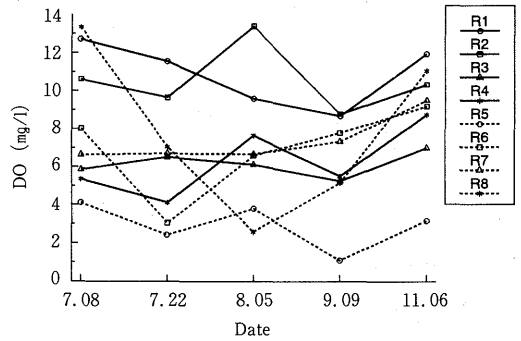
第11図 流入河川のpH

かではない。

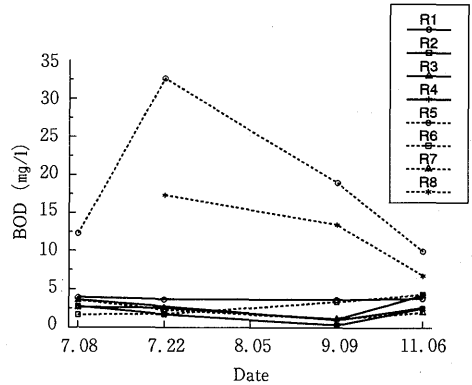
他の測定地点では、0.1~1.5mg/lの範囲にあり、測定日による明確な変動は認められなかった。(Fig. 15)

(6) 窒素構成比

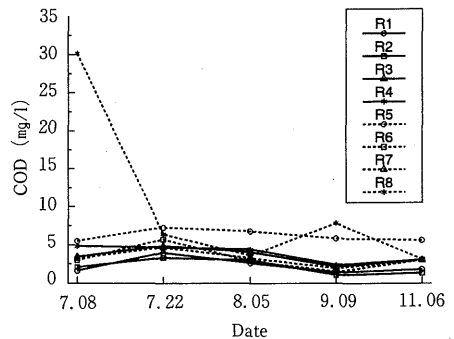
各測定地点のアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、有機態窒素の平均濃度から窒素成分の構成比を求めた。これによるとR2~R6では硝酸性窒素が全体の



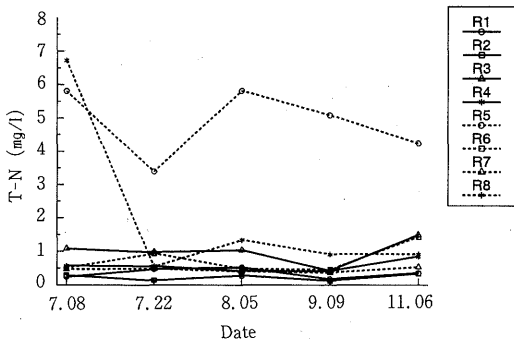
第12図 流入河川のDO



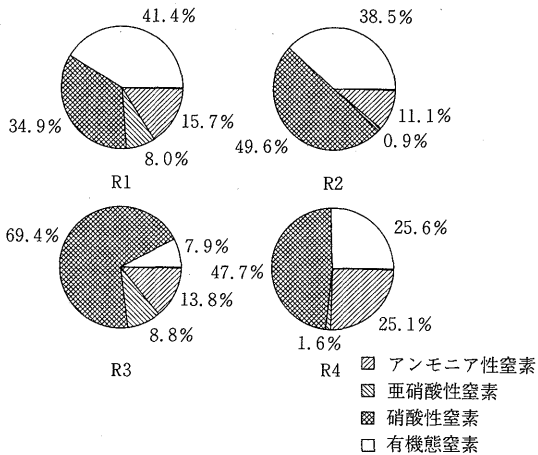
第13図 流入河川のBOD



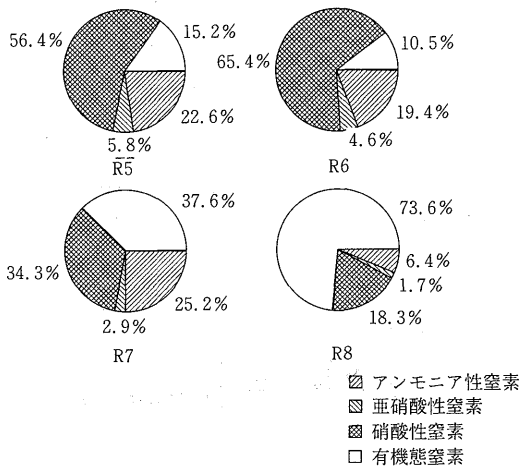
第14図 流入河川のCOD



第15図 流入河川のT-N



第16図 流入河川の窒素成分 (河川水路)



第17図 流入河川の窒素構成比 (排水路)

約50~70%を占めており、硝化が進んでいる様子が伺える。それに対し、R1, R7, R8では有機態窒素とアンモニア性窒素の合計が全体の約60~80%に達しており、硝化が進行していないことがわかる。(Fig. 16, Fig. 17)

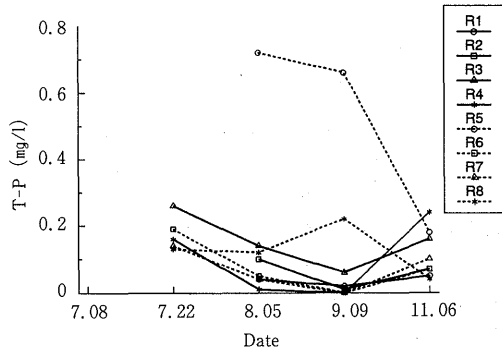
(7) T-P

T-PはCOD, T-Nとは異なり、測定地点ならびに測定日による変動が顕著である。変動幅は0~0.72mg/lであった。R5, R8は異なる傾向を示しているが、他の測定地点では7月~9月にかけてT-Pは減少し、11月にやや増加する傾向がみられた。(Fig. 18)

(8) T-NとT-Pの濃度比

Table 5に各測定地点におけるT-NおよびT-Pの平均とその濃度比を示した。ここでいう平均は算術平均で求められたものであるが、7月8日にはPが測定されていないため、それ以降の4回の測定結果の平均について濃度比を求めた。

これによると河川水路では4:1~8:1の濃度比となっているが、排水路では6:1~10:1となっている。



第18図 流入河川のT-P

第5表 流入河川の各測定地点におけるT-N, T-Pの濃度比

測定地点	平均T-N(mg/l)	平均T-P(mg/l)	T-N : T-P
R1	0.35	0.04	8.8 : 1
R2	0.24	0.06	4.0 : 1
R3	0.98	0.16	6.1 : 1
R4	0.56	0.10	5.6 : 1
R5	5.04	0.52	9.7 : 1
R6	0.82	0.08	10.3 : 1
R7	0.44	0.07	6.3 : 1
R8	0.92	0.13	7.1 : 1

* : 3回の測定の平均値

このことから生活雑排水では窒素分が相対的に多いことがわかる。

考 察

1. COD, T-N, T-Pの流入負荷量

流入河川の水質が湖沼に与える影響は濃度のみに着目するだけでは明かとはならない。汚濁物質濃度が大きい場合においても、その流量が小さければ湖沼に与える直接的な影響も小さいといえる。

そこで、本調査で得られた実測値を用いて湖山池に流入するCOD, T-N, T-P負荷量を推定し、各流入河川が湖沼に与える影響度について考察を行った。負荷量は各測定地点で得られた平均濃度に流量をかけて求めた。その結果はTable 6に記載している。なお、R2, R4, R7, R8では正確な流量が得られなかった。そのうちR2, R4については平成2年度の文献値²⁾が得られたため、これを用いて負荷量を推定した。

これによると、COD, T-N, T-P全てに高濃度であったR5からの流入負荷はCODで6河川合計の1%, T-Nで5%, T-Pで1.4%に過ぎないことがわかる。

2. 湖山池と流入河川の水質データの比較

本調査によって得られた湖山池の水質データと流入河川のそれとを比較することによって、湖山池の水質に与える流入河川の影響をとらえることができる。

COD濃度は湖山池で6.06mg/l, 流入河川では2~6.2mg/lであった。流入河川のCOD濃度の内訳をみると、河川水路では2~4mg/lとなっており、いずれも湖水を下回っている。一方、排水路をみると3~10mg/lと幅があり、流量の小さい排水路では湖水を上回る濃度も測定されている。

同様の傾向はT-N, T-Pにも認められる。

第6表 COD, T-N, T-Pの流入負荷量

測定地点	流量(m ³ /s)	流入負荷量(kg/day)		
		COD	T-N	T-P
R1	0.23	45.1	6.96	3.97
R2	0.43	79.1	8.54	7.43
R3	0.08	24.2	6.91	1.10
R4	0.15	50.0	7.26	1.30
R5	0.005	2.7	2.10	0.22
R6	0.15	41.6	9.84	1.04
合計	1.045	242.7	41.61	15.06

T-N濃度は湖山池で平均0.66mg/l, 流入河川では0.23~2.08mg/lであった。湖山池の値よりかなり大きいのは流量の小さい排水路で得られている。一方、比較的流量の大きい河川水路では湖山池の平均値より弱冠小さい値が得られている。

T-P濃度は、河川水路では0.04~0.16mg/l, 排水路では0.07~0.52mg/lであった。湖山池のそれが平均0.12mg/lであることから、河川水路では湖水での濃度と同程度もしくはそれ以下となっており、排水路では湖水と同程度もしくはそれ以上となっている。

以上述べたように、河川水路では湖水以下の濃度の水が流れており、排水路では湖水以上の濃度となっている。

排水路の流量は河川水路のそれに比較し極めて小さい。そのため、流入河川が湖水の水質に与える影響は、河川水路によるものと考えて差し支えない。

前述のように湖山池では樋門操作によって湖水の淡水化が進行している。これは流入河川より供給される淡水が湖内に蓄積された結果と思われる。流入する河川水のCOD, T-N, T-P濃度は湖水のそれよりも小さいため、流入河川による湖水各濃度の希釈効果が期待される。しかし、現実にはCOD, T-N, T-P濃度は過去の測定値と比較して改善されていない。すなわち、有機物、窒素、リンの湖内生産が行われていると推察される。

結 論

今回の調査によると流入河川のCOD, T-N, T-P濃度は湖山池のそれよりもやや小さな値であり、流入水が湖山池の水質を直接に汚濁しているとはいえない。現状における湖山池の水質汚濁の主因は、流入する汚濁物質が湖内の生物活動を盛んにし、その生産物が流出しないところにあると考えられる。

流入河川の汚濁物質濃度は湖水のそれより低いが、自然状態よりもはるかに大きい。現在の濃度での流入が継続された場合、湖内での有機物生産も低下することはない。このことは水質の自然浄化を期待することはできないことを意味している。

湖水浄化のためには、現在、行政サイドで進められている公共下水道、集落排水等の整備により汚濁物質の流入負荷を低下させるとともに、底泥の浚渫および、より合理的な水門操作を行うことによって湖内蓄積量を減少させることも必要であろう。また、視点を変えて、湖山池周辺に広がる水田地帯の水質浄化作用をも積極的に取入れ、流域全体を含む水質浄化機構を構築することも一考に値するといえる。

文 献

- 1) 福田啓子：鳥取大学教養部紀要，**23**，137-150 (1989)
- 2) 鳥取県：湖山池水質管理計画，1991
- 3) 中野恵文，宮川正美，熊埜御堂洋：鳥取大学教育学部研究報告，自然科学，**23**，179-189 (1972)
- 4) 田中善蔵，島崎綾子，高田秀夫，松本聡：鳥取大学教養部紀要，**18**，49-66 (1984)
- 5) 田中善蔵，上田那須雄，西田良平，福田啓子，島崎綾子：鳥取大学教養部紀要，**24**，63-92 (1990)