

湖山池の水質に関する研究(1)

湖山池の水質

中野恵文* 宮川正美* 熊埜御堂 洋*

S. NAKANO, M. MIYAGAWA and H. KUMANOMIDO: Chemistry of the Water of Lake Koyama (1)
Water Quality of Lake Koyama

(1972年9月10日 受理)

1 緒 言

湖山池は鳥取市の西部にあり、鳥取県では中海につぐ第二の湖沼である。湖山池の南および西側は海拔 50~100m の山地に囲まれ、北側は湖山砂丘をへだてて日本海をのぞみ、海岸までの距離は1200m程度である。また、近くに吉岡温泉もあり、観光地としても知られている。

近年、各方面で河海や湖沼の水質汚濁がしばしば問題になっているが、湖山池も1966年鳥取大学が湖山池湖畔に移転し、湖山池周辺の人口が急激に増大するとともに、その水質汚濁が漁業上あるいは観光上問題となってきた。

われわれは、この度水質汚濁調査の立場から湖山池の水質の現状を調査したので、その概略を報告する。

湖山池はその大きさからみれば池よりもむしろ湖に分類した方が適切であり、以下においては湖として表現する。

2 湖山池の概況

湖山池は 周囲 14.9 km, 湖面積 6.94 km², 水深は 湖の北部で深く南部で浅いが、最大深度 7.0m, 平均深度2.7mの潟湖（海跡湖）で、湖水の体積は $1.85 \times 10^7 \text{ m}^3$ といわれている¹⁾。

湖山池には長柄川をはじめとして数個の流入河川があるが、いずれも小さく流量も少ない。その他、多くのかんがい水および家庭下水などの生活污水が、直接あるいは間接に湖に流入している。一方、湖山池は湖山川により、千代川の河口を経て日本海に通じている。

湖山池では魚の養殖とともに漁業が行なわれており、1966年の資料²⁾では漁業生産量は年間 150 トンで、主要生産種としてエビ類、フナ、コイ、ワカサギ、ウナギが報告されているが、現在では主要生産種のエビ類、ワカサギなどが減少し、全生産量も減少しているようである。

また、湖水は夏季において湖山池周辺の田畑のかんがい水として利用されており、そのため日本海に通じる湖山川に水門を設け、冬季は一般に水門を開いているが、夏季は水門の開閉により湖の水位を調節するとともに、海水の湖への流入による塩分濃度の増大を防止している。

* 化学教室

湖山池の水位は水門の開閉により一般に冬季に低く、夏季に高いが、1971年の湖山池の豊水位は海拔 42 cm, 渇水位 11 cm, 年平均水位 31 cm³⁾ と海面よりわずかに高い程度である。湖水の水位が低い場合水門を開いた場合、潮の干満により、また湖山川の下層を密度流を形成することにより海水が湖に流入し、その結果、湖水の塩分濃度が增大するとともに高濃度流入水が密度差により成層するなどして、湖山池の水質に大きな影響を及ぼすことが考えられる。

3 水 質 調 査

3.1 調査日、調査地点および調査項目

調査日は1971年 7月19日, 8月19日, 10月12日の計3回である。

調査地点は図1に 1~7 の記号で示す。5以外は湖岸より約50mの地点、5はほぼ湖の中央

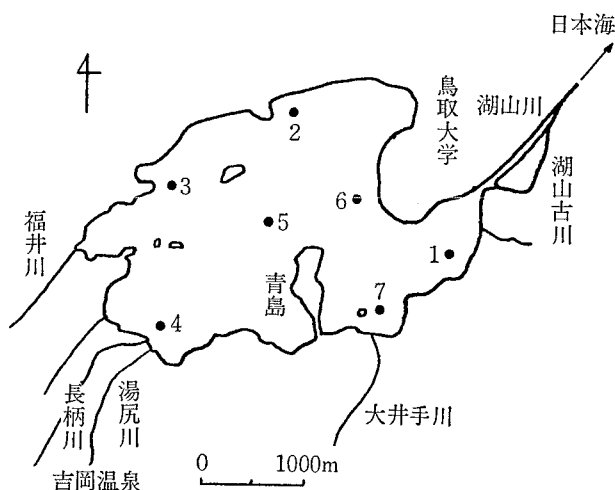


図1 湖山池の調査地点と水深

調査地点	水 深 (m)
1	1.9
2	6.3~7.0
3	3.0~3.2
4	1.3
5	3.8
6	4.3
7	1.9

で、いずれも水面下 0.5m の湖水を採水した。なお、水深が 3 m 以上の 2, 3, 5 および 6 では湖底付近の湖水の調査を同時に実施したが、これらを 2', 3', 5' および 6' で示す。なお、各調査地点の水深は図1に示すとおりである。

調査項目は水質汚濁調査の観点より、以下の項目について調査を行なった。

気温、水温、pH、透明度、濁度、導電率、全蒸発残留物、溶存酸素 (DO)、化学的酸素消費量

(COD), 塩素イオン, 硫酸イオン, リン酸イオン, 亜硝酸イオン, アンモニウムイオン。

3・2 採水および水質分析法

(1) 採 水

ハイロート型採水瓶により採水した。

(2) 水質分析方法

気温, 水温および透明度は現場で測定し, 他は採水終了後直ちに実験室で測定した。なお, 吸光光度法および比濁法による分析はいずれも日立分光光度計101型を使用した。

気温, 水温: 棒状水銀温度計により測定した。

pH: 東亜電波 K. K. 製モデル HM-5A 型により測定した。

透明度: 透明度板により測定した。

濁度: 濁度は日立分光光度計101型 (波長 $660\text{ m}\mu$, 10 mm セル) により, 蒸留水の透光度を100としたときの透光度で示す。したがって濁度の値が大きいほど濁りが小さく, 濁度の値100は完全に透明で濁りがないことを示す。

導電率: 東亜電波 K. K. 製モデル CM-2A 型により測定した。

全蒸発残留物: 検水 50 ml を蒸発乾固し, 110°C で乾燥し, デシケーター中で放冷したのち測定した。

溶存酸素: ウィンクラーアジ化ナトリウム変法⁴⁾ により測定した。ただし, DO測定用瓶の容量は約 50 ml で, 鉄イオンの妨害を除くためフッ化カリウム溶液 (30%) 1 ml を添加した。

化学的酸素消費量: 100°C における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量⁴⁾ により測定した。

塩素イオン: 硝酸第二水銀溶液による滴定法⁴⁾ により測定した。検水はあらかじめ定量ろ紙 No. 5C でろ過した。

硫酸イオン: 比濁法⁴⁾ により測定した。検水はあらかじめ定量ろ紙 No. 5C でろ過した。

リン酸イオン: モリブデンブルー法⁴⁾ で測定した。

亜硝酸イオン: 酢酸アニリンと α -ナフチルアミンによる 吸光光度法⁴⁾ により測定した。検水には採水後直ちに硫酸を添加した。

アンモニウムイオン: ネスラー試薬による吸光光度法⁴⁾ により測定した。検水には採水後直ちに硫酸を添加した。

4 調査結果および考察

調査結果を表1～3に示す。

また, 以下の各測定項目の変化を示す図では, 特異な測定値のみ調査地点の記号で示し, その他は各調査地点の測定値をまとめて全体としての変化の傾向で示した。

4・1 pH

pH の変化を図2に示す。

8月の表層の pH 値は $8.0\sim 9.0$ と7月および10月に比べて大きく, 調査地点による測定値

表1 湖山池の水質(1)

(採水日・1971年7月19日 水位³⁾ {高 住—48cm
天 候・曇時々晴 湖山池口—43cm)

調 査 地 点	1	2	2'	3	3'	4	5	5'	6	6'	7
採 水 時 刻	10:45	11:35		12:05	12:25	13:00		11:10	13:20		
気 温 (°C)	28.0	28.0		28.6	28.2	28.5		28.2	28.7		
採水水深(m)	0.5	0.5	6.0	0.5	3.0	0.5	0.5	3.5	0.5	4.0	0.5
水 温 (°C)	27.8	28.8	21.8	28.6	26.1	28.2	28.5	25.5	28.2	25.2	28.7
pH	7.8	7.2	7.3	7.9	7.6	7.7	7.8	7.6	7.8	7.6	8.0
透 明 度 (m)	1.0	0.75	—	0.68	—	0.65	0.68	—	0.75	—	0.58
濁 度	94.8	94.6	91.2	95.8	92.8	93.2	94.9	93.0	95.2	94.1	93.9
導電率(mΩ/cm)	1.92	1.82	2.60	1.74	1.62	1.55	1.69	1.67	1.85	1.87	1.80
全蒸発 残留物 (ppm)	1140	1180	1600	1020	940	940	1000	1040	1120	1140	1060
DO (ppm)	7.6	7.4	3.9	7.6	6.7	7.3	7.2	7.0	7.3	7.0	7.7
COD (ppm)	7.3	7.8	7.7	8.7	9.0	8.3	7.4	7.5	6.9	7.0	7.4
Cl ⁻ (ppm)	520	490	730	470	430	410	440	450	500	510	480
SO ₄ ²⁻ (ppm)	68	76	100	66	60	64	68	68	72	74	60
PO ₄ ³⁻ (ppm)	0.035	0.006	0.19	0.005	0.011	0.023	0.005	0.011	0.010	0.015	0.012
NO ₂ ⁻ (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NH ₄ ⁺ (ppm)	0.36	0.14	0.97	0.36	0.37	0.19	0.27	0.26	0.41	0.24	0.18

表2 湖山池の水質(2)

(採水日・1971年8月19日 水位³⁾ {高 住—44cm
天 候・晴後曇 湖山池口—41cm)

調 査 地 点	1	2	2'	3	3'	4	5	5'	6	6'	7
採 水 時 刻	10:05	10:50		11:25	11:50	12:20		10:30	12:45		
気 温 (°C)	28.5	28.5		30.5	30.0	30.0		28.0	30.5		
採水水深(m)	0.5	0.5	6.0	0.5	2.8	0.5	0.5	3.5	0.5	4.0	0.5
水 温 (°C)	26.7	27.1	27.0	27.2	27.1	28.4	27.2	27.0	27.0	26.7	27.2
pH	8.0	8.7	7.3	8.6	8.6	9.0	8.4	7.9	8.3	7.6	8.8
透 明 度 (m)	0.75	0.70	—	0.60	—	0.67	0.70	—	0.75	—	0.70
濁 度	95.9	92.3	96.8	92.5	93.2	94.0	94.5	94.0	95.9	92.8	94.2
導電率(mΩ/cm)	2.05	2.13	14.5	2.48	2.02	2.37	2.18	2.31	2.34	2.69	2.07
全蒸発 残留物 (ppm)	1240	1340	17600	1320	1260	1380	1400	1340	1680	1260	1140
DO (ppm)	7.7	9.0	3.5	8.8	8.8	9.6	8.1	7.4	8.2	6.6	8.7
COD (ppm)	7.7	10.7	11.5	9.9	9.8	11.9	7.8	7.8	9.0	7.6	9.0
Cl ⁻ (ppm)	540	560	4690	550	540	550	580	620	600	730	560
SO ₄ ²⁻ (ppm)	72	72	660	68	72	72	80	76	76	96	84
PO ₄ ³⁻ (ppm)	0.022	0.009	1.2	0.017	0.009	0.005	0.003	0	0.005	0.009	0.009
NO ₂ ⁻ (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NH ₄ ⁺ (ppm)	0	0.12	3.2	0	0.12	0.23	0.31	0.50	0.28	1.1	0.13

表3 湖山池の水質 (3)

(採水日・1971年10月12日 {水位³⁾ 高 住—50cm
天 候・曇 湖山池口—42cm)

調査地点	1	2	2'	3	3'	4	5	5'	6	6'	7
採水時刻	10:00	10:40		11:00	11:15	11:40			10:20		12:00
気温 (°C)	16.0	16.0		17.0	18.0	17.8			15.3		16.8
採水水深(m)	0.5	0.5	6.0	0.5	2.8	0.5	0.5	3.0	0.5	4.0	0.5
水温 (°C)	18.2	18.5	18.5	18.3	18.3	16.9	18.4	18.5	18.2	18.5	18.5
pH	7.7	7.6	7.6	7.7	7.5	7.2	7.7	7.4	7.4	7.6	7.7
透明度 (m)	0.80	0.70	—	0.80	—	1.0	0.80	—	0.75	—	0.70
濁度	94.3	93.8	91.6	93.5	92.0	96.5	94.2	94.0	94.2	90.9	93.6
導電率(mΩ/cm)	2.93	1.92	14.1	2.14	2.23	0.927	2.07	1.91	2.10	9.55	1.67
全蒸発残留物 (ppm)	1180	800	9000	980	1040	440	940	980	1060	6040	840
DO (ppm)	8.7	8.5	7.3	8.1	8.2	8.1	8.5	8.7	8.5	7.9	8.6
COD (ppm)	4.9	6.1	6.9	6.9	7.3	5.6	5.3	6.2	6.1	5.6	7.4
Cl ⁻ (ppm)	610	620	3460	500	500	240	510	510	590	3110	430
SO ₄ ²⁻ (ppm)	76	68	400	60	60	28	60	56	68	380	52
PO ₄ ³⁻ (ppm)	0.015	0.025	0.020	0.018	0.022	0.035	0.013	0	0.010	0.040	0.018
NO ₂ ⁻ (ppm)	0	0	0.020	0	0.020	0.040	0	0	0	0	0
NH ₄ ⁺ (ppm)	0.42	0.35	2.2	0.19	0.33	0.20	0.13	0.24	0.18	0.37	0.27

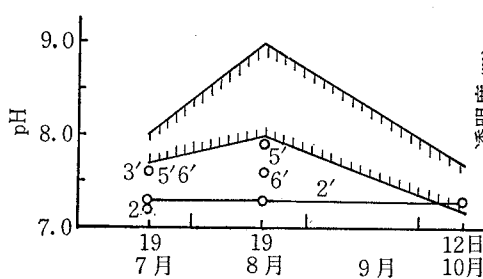


図2 pH の 変化

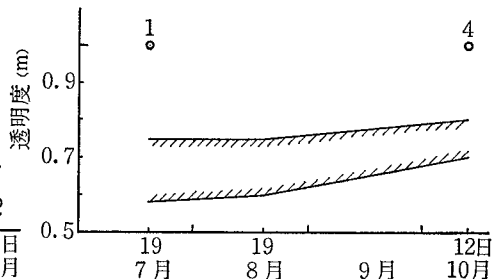


図3 透明度の変化

のバラツキも大きい。また、水深4 m以上では表層と底層のpH値が異なり、水深が大きくなるとともにpH値は小さくなる。水深約7 mの2'のpH値は7.4前後で、時期的変化も小さい。

これは、表層における植物プランクトンの光合成作用によりpH値が大きくなり、また調査地点における植物プランクトンの発生状況や採水時刻などの条件により、pH値のバラツキも大きくなったもの^{5)~7)}と考えられる。

4.2 濁度、透明度

湖山池の水の濁りは、風雨やプランクトンの発生状況などにより変化すると考えられるが、とくに水深が浅いことから強い風による波立ちで湖底の堆積物が再分散し、濁りが増大することが考えられる。調査日およびその前数日間の天候は、いずれも穏やかな日が続いており、得

られた結果はその時期における通常の湖山池の濁りの程度を示すと考えてよいであろう。

透明度の変化を図3に示す。

夏季の湖山池の透明度は0.60~0.75mとかなり小さい値を示すが、これは夏季に水の華の生成がみられることから、多くの平地の湖と同様にプランクトンの発生によるもの^{6)~8)}と考えられる。

吉村⁹⁾は1929年、すでに湖山池における水の華の生成を報告し、また7月下旬の2附近の透明度が0.7mと上記測定結果と同程度の値を報告している。また、鳥取県水産試験場の1965年の調査²⁾でも、7月、8月および10月の透明度は、今回の調査とほぼ同じで、湖山池の夏季の湖水は数10年以前より同程度の濁りを示していたものと考えられる。

4.3 導電率、全蒸発残留物、塩素イオン、硫酸イオン

塩素イオン濃度の変化を図4に、塩素イオン濃度と硫酸イオン濃度の関係を図5に示す。

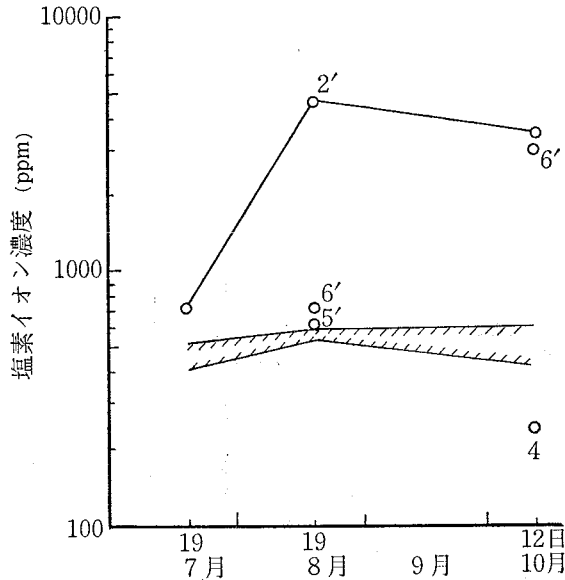


図4 塩素イオン濃度の変化

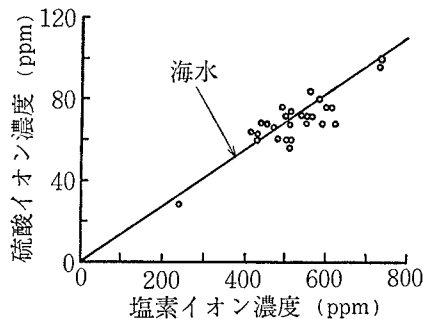


図5 塩素イオン濃度と硫酸イオン濃度の関係

湖山池の全蒸発残留物は海水の流入により非常に大きな値を示し、かつ懸濁物質量が少ないため、上記各項目の測定値の間にはそれぞれほぼ比例関係が成立している。また、導電率、全蒸発残留物および硫酸イオン濃度の変化は塩素イオン濃度と同様の傾向を示す。

湖山池の塩素イオン濃度は、当然海水の流入に著しく影響される。従来の塩素イオン濃度の調査結果も、表4に示したように、調査時により著しい変化を示している。しかしながら、前述のように湖山川の水門は冬季は開かれているが、夏季は湖水をかんがい水として利用するため、水門の開閉によってできるだけ海水の湖への流入を防止しているため、一般的傾向として塩分濃度も冬季は大きく夏季は小さくなることが予想される。

表4 湖山池の塩素イオン濃度^{2), 10)}

測定年月	塩素イオン濃度 (ppm)
1964年5月	320～610
“ 7月	520～720
1965年5月	150～160
“ 6月	130～150
“ 7月	70～80
“ 8月	60～90
“ 9月	160～200
“ 10月	190～340

今回の調査において、7月および8月の塩素イオン濃度が調査地点により大きな相違を示さないこと、7月に比べて8月の方が全体として大きな値を示すこと、8月の底層の濃度が水深4m以上で表層よりも大きく、かつ7月の底層よりもかなり大きいことは、明らかに7月の調査後に海水が流入したことを示しており、また同時に、流入した海水は密度流を形成してかなり速かに水平方向に分散すること、水深3～4m以下では湖水は均一に混合していること、水深4m以上では塩分濃度の相違による密度差によって成層し、上下方向の混合がかなり遅いことを示している。

また、10月に塩分濃度による成層がみられる¹¹⁾ことは、湖山池の水質を考えるうえで注目すべきことである。

塩素イオンと硫酸イオンの濃度の割合は、図5に示すように海水中的の両イオンの割合 ($\text{SO}_4/\text{Cl}=0.14$) とほぼ一致しており、7月の塩素イオン濃度 500 ppm は河川水 40 部に対し海水 1 部の割合で混合していることに相当する。

なお、10月の調査で4が異常な測定値を示すのは、4が湖山池に注ぐ最大の河川長柄川の河口に近く、河川水の影響によるものと考えられる。

4.4 溶存酸素 (DO)

酸素飽和度 (測定値/飽和値) の変化を図6に、表層の pH と酸素飽和度の関係を図7に示す。図6から明らかなように、7月および10月の酸素飽和度はそれぞれ 85～100% および 85～

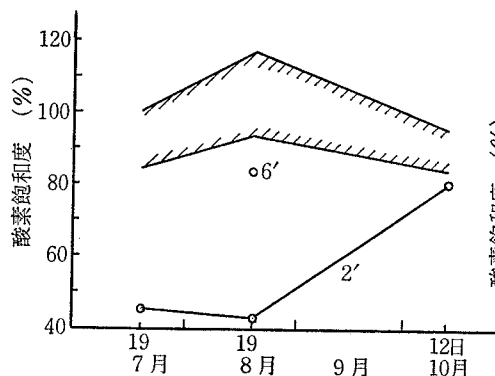


図6 酸素飽和度の変化

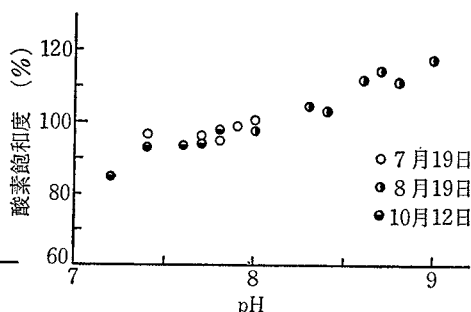


図7 pHと酸素飽和度の関係(表層)

95%であるが、8月は過飽和となっている。これは図7に示す8月の表層の酸素飽和度と pH の関係から、湖水中の植物プランクトンの光合成作用に起因する^{5),7),11)}と考えられる。

また、底層とくに2'の7月および8月の酸素飽和度が著しく小さいのは、7月は塩分の濃度差により、より安定化された水温成層を形成し、8月は主として塩分の濃度差による成層を形成していること、底層および堆積物中の有機物たとえばプランクトンの遺骸などの分解に酸素が消費されることによる^{5)-8),11),12)}と考えられる。以上のような湖水中の酸素の分布状態は、夏季停滞期における富栄養湖の一般的特徴である。

なお、吉村⁹⁾は1929年に、すでに湖山池が7月下旬、安定な成層をなした状態において、2 附近の表層はアルカリ性が強く、酸素は過飽和であり、底層は中性に近く無酸素状態であったことを報告している。また、鳥取県水産試験場の1965年の調査²⁾でも、夏季における表層の酸素過飽和と底層の無酸素状態の出現を報告している。

4.5 化学的酸素消費量 (COD)

COD の変化を図8に示す。

湖山池の COD は夏季とくに8月は8~12 ppm と大きい値を示すが、10月は5~7 ppm に低下している。夏季に COD が大きくなる理由としてプランクトンその他により湖水中で生産

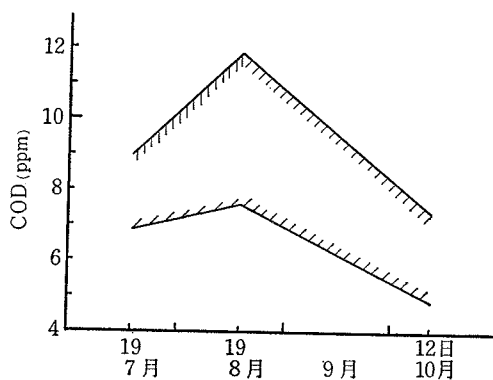


図8 COD の変化

された有機物の影響¹²⁾が考えられるが、さらに検討が必要である。

吉村⁹⁾は1929年に、7月下旬の湖山池の過マンガン酸カリウムによる酸素消費量が6.8 ppmであったことを報告している。

生活環境に係る環境基準のCODは、湖沼の場合、類型B(普通程度の富栄養湖型の水産生物を対象とする)が5 ppm以下、類型C(日常生活において不快感を生じない程度)が8 ppm以下となっており、このことから、湖山池のより以上の水質汚濁を防止するために何らかの対策が要望される。

4・6 アンモニウムイオン、亜硝酸イオン

アンモニウムイオン濃度の変化を図9に示す。

夏季の湖山池表層のアンモニウムイオン濃度は8月にやや減少する傾向があるが、ほぼ0.1~0.3 ppmの値を示す。また底層とくに2'と6'は著しく大きな値を示すが、これは溶存酸素の項で述べた底層における酸素の減少と同様の理由によるもの^{6),7),12),13)}と考えられる。

亜硝酸イオンはほとんど検出されていない。10月に4で0.012 ppm検出されているが、これは塩素イオンの項で述べたように、長柄川の河川水の影響が考えられる。

4・7 リン酸イオン

リン酸イオン濃度の変化を図10に示す。

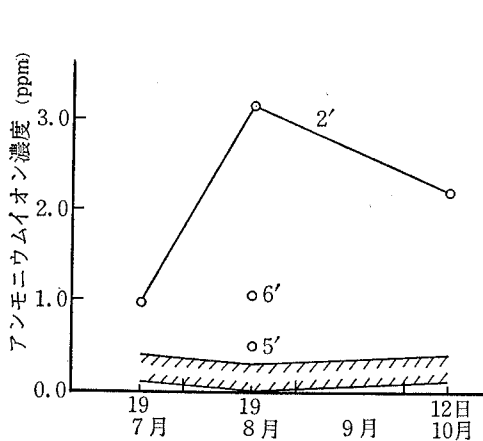


図9 アンモニウムイオン濃度の変化

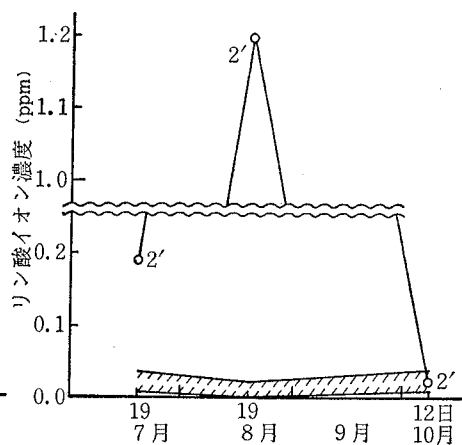


図10 リン酸イオンの濃度変化

湖山池表層のリン酸イオン濃度はほぼ0.03 ppm以下であるが、8月に小さく10月に大くなる傾向を示している。

また、底層とくに2'のリン酸イオン濃度が著しく大きいのは、これは富栄養湖の一般的特徴の一つであり、底層におけるDOの減少およびアンモニウムイオン濃度の増大と同様の理由によるもの^{6),13~15)}であろう。

リンは窒素とともに湖沼の生物生産に大きな影響を及ぼし、栄養塩と呼ばれる。本邦の湖沼

における可溶性リンの含有量は約 0.015 ppm (0.01~0.03 ppm)⁷⁾ といわれており、湖山池はほぼ平均の値を示している。

5 ま と め

1971年7月から10月にかけて行なった湖山池の水質調査結果の概要をまとめて示す。

(1) 湖山池全体の水質は海水の流入により著しい影響をうける。

(2) 湖山池は水深 4 m 以上では7月~10月において水温あるいは塩分の濃度により成層し、夏季の底層における DO, アンモニウムイオン濃度およびリン酸イオン濃度は富栄養湖としての特徴を示す。

(3) 湖山池の夏季の水質、たとえば pH, 透明度、濁度および DO などは、湖山池に発生したプランクトンなどによりかなり大きく影響されると考えられる。

(4) 水質汚濁の観点からみれば、とくに夏季における濁りと COD の増大および底層における DO の減少が注目される。近年、湖山池周辺の人口が増加するとともに、湖山池に流入する生活污水などの水質汚濁物質が増大していることは確実であり、現在以上の汚濁を防止することが必要である。

最後に、今回の調査にあたりご援助いただいた鳥取大学教養部の片山由美子嬢ならびに教育学部の学生諸君に謝意を表する。

文 献

- 1) 鳥取県企画室, 鳥取県の水資源, (1968).
- 2) 鳥取県水産試験場, 第39回全国湖沼河川養殖研究会資料, 湖山池・東郷池の漁場学的調査, (1966).
- 3) 建設省中国地方建設局鳥取工事事務所資料, (1971~1972).
- 4) 工場排水試験方法, JIS K 0102, (1964).
- 5) 半谷高久, 水質調査法, (1960), 161, 丸善.
- 6) 山本莊毅編, 地球科学講座9, 陸水, (1968), 181, 共立出版.
- 7) 小泉清明, 川と湖の生態, (1972), 7, 共立出版.
- 8) J. A. Borchardt, J. Amer. Water Works Ass., **61**, No. 6, 272 (1969).
- 9) 吉村信吉, 地理学評論, **5**, No. 11, 29 (1929).
- 10) 鳥取大学地理学研究会, 青島総合調査研究報告書, (1964).
- 11) 徳平淳, 工業用水, No. 114, 24 (1968).
- 12) T. Koyama, T. Tomino, Geochem. J., **1**, 109 (1967).
- 13) K. M. Mackenthun, L. E. Keup, R. K. Stewart, J. Water Poll. Control Fed., **40**, R72 (1968).
- 14) C. M. Weiss, J. Amer. Water Works Ass., **61**, No. 8, 387 (1969).
- 16) D. G. Ballinger, G. D. McKee, J. Water Poll. Control Fed., **43**, No. 2, 216 (1971).

Summary

The surface and the bottom water samples were collected from several stations in Lake Koyama, Tottori Prefecture, from July to October, 1971. The water quality was examined with respect to water temperature, transparency, turbidity, pH, electroconductivity, total solid residue, dissolved oxygen (DO), chemical oxygen demand (COD), Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- and NH_4^+ .

From the results of this study, the following points may be noted.

1. The water quality of Lake Koyama is significantly influenced by the sea water occasionally

entering the lake.

2. In summer and autumn, the stratification resulting from water temperature and (or) salt content occurs in the water layer deeper than 4 m.
3. The results of the contents of DO, PO_4^{3-} and NH_4^+ , for example, in the surface and the bottom waters suggest that Lake Koyama is eutrophic.
4. The increase of values of pH, turbidity, DO and COD in the surface water in August may be caused by the abundant growth of plankton.