

# 河口湖の水質汚濁について

高橋 恒夫

## 1. はじめに

湖沼の富栄養化は位置、成因、形、水質、生物群集とその生態などによってちがいがあがるが、貧栄養湖がしだいに富栄養化現象を急速にたどりつつある傾向は近年とくにいちぢるしい。富栄養化は、湖にちっ素とりんの化合物が流れ込み、それによって生物生産が行われ水質汚濁の原因となる。

昔は、山林や農地から流入する表面水という自然の水が湖へ流入し、つねに栄養物質と水中の微生物の働きとの調和がとれていて、水質の汚濁はほとんど考えられなかった。

ところが終戦後から現在にいたる、わずか30数年の間に、わが国の湖沼の富栄養化現象は全国的な問題となって来た。

琵琶湖、霞ヶ浦、手賀沼、諏訪湖をはじめかつては素朴で美しく透明度は日本一といわれた摩周湖でさえも41.6m (1931年調査) から27m (1952年) へ、田沢湖は33m (1931年調査) から6~7m (1970年) へと透明低下し汚濁は進んでいる。何れも汚濁による透明低下の原因は養魚や観光排水によるものである。

このように湖の富栄養化の現状は琵琶湖、霞ヶ浦をはじめほとんどの湖に対して猶予のできない状態になっている。

本調査にあたった、河口湖は富士山の眺望はもっとも美しいとされ、古くから親しまれた風光明媚の湖である。それが故に、観光地として栄えて富士五湖の中でも一番観光客を受入れている。

このような状況から、汚染の進行がどのように進行しているかを調査するのを目的とした。

## 2. 河口湖の現状

河口湖は、河口湖町、勝山村、足和田村にまたがっていて、水面海拔高度 822.4m、面積 6.1km<sup>2</sup>、平均深度 9.8mの湖で、周囲の山は高く、とくに北岸は三ヶ峠か御坂峠、東面は黒岳や御坂塊が屏風のようにつらなっ

ている湖である。水面の変化が激しくて、その年較差は5~8mもある。

周囲の人口は15,000人程度であるが、船津、小立の勝山地区に人が密集している。

浅川から船津にかけて、ホテル、旅館、休憩所をかねたみやげ物屋が軒をならべ、また湖岸周囲には60軒以上の民宿もある。

観光客は、3月の閑散とした時季でさえ23万人、賑う8月には75万人の人が訪れる。年合計で470万人程がレジャーを求めて来訪している。

また、わかさぎ、こい、ふな、うなぎの放流養殖が行われていて、その水揚量も可成りの数であって、たとえばわかさぎ47,000kg、ふな22,000kg、うなぎ3,700kgにも達している。これも湖水の汚濁の一原因となっている。

そこで、本調査では、観光地の中心でありホテル、旅館、みやげもの屋などが軒をならべ、観光船やモーターボートの発着所の多い船津地区と河口湖大橋の範囲が汚染度が高いと想定し調査の対象とした。

## 3. 調査

採水場所の選択については、図1のように船津地区と河口湖大橋の間で、観光客の出入のはげしい場所を選んだ。

調査の第1回は観光シーズンの終り頃と湖水の循環期から考えて昭和54年10月16日(快晴)、第2回はシーズン直前の昭和55年7月26日(快晴)、第3回はシーズン時季のやや過ぎた9月4日(快晴)に行い、何れも午前9時30分から午後3時30分の間に、水深2mで採水した。この理由は大型の遊覧船やモーターボートが激しく往来するので、表面水が攪拌されて場所によってはDOなどの値に影響が出るのを懸念したためである。

調査の対象は、湖水中の植物プランクトン、水草、付着生物の生産分解によって影響をおよぼす溶存酸素(DO)、水素イオン(PH)、汚濁に直接関係の深いアンモニア(NH<sub>4</sub>)とその酸化によって生ずる亜硝酸(NO<sub>2</sub>)、とくに濃度の増加が心配されているリン酸(PO<sub>4</sub>)、汚

河口湖の水質汚濁について

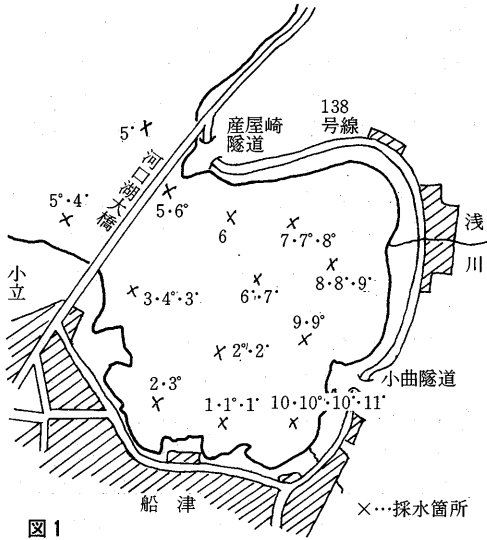


図1

濁の程度の指標となっている化学的酸素要求量(COD), これまた人為的にはこびこまれる塩素イオン (cl-) について調査を行った。

方法としては、水温、PH、DOについてはただちにその場(ボート上)で計測し、その他は500mlのポリタンに移しとり、アイスバックに入れて5℃の温度に保ち翌日本学研究室にて検水した。

とくに、7月27日の調査の際、一住民から遊覧船やモーターボートの発着用機橋の支柱や桁に寒天状の群体がびっしりと可成りの厚さで付着しているのを示され、直径が20cmぐらいの球塊状の物質を採取してみた。クラゲとよくにている生物で早速研究室に持ち帰った。

調査結果は次の通りであった。

表1 調査1 昭和54年10月16日

項目 採水 場所No.	水温 (°C)	CO PPM	PH	アンモ ニア-N mg/l	リン酸 -P mg/l	COP PPM
1	19	6.5	7.2	0.4	0.02	2.0
2	19	7.3	7.3	0.32	0.02	2.0
3	19	7.6	7.3	0.29	0.02	1.5
5	19	8.2	7.4	0.28	0.02	1.3
6	18	8.0	7.4	0.28	0.02	1.6
7	18	8.0	7.4	0.20	0.02	1.6
8	18	7.7	7.3	0.32	0.02	1.3
9	18.5	7.0	7.2	0.30	0.02	1.4
10	19	7.0	7.3	0.30	0.02	1.4

表2 調査2

昭和55年7月26日

項目 採水 場所No.	水温 (°C)	DO PPM	PH	アン モニ ア-N mg/l	亜硝 酸 mg/l	リン 酸-P mg/l	塩素 イオン mg/l	COD PPM
1°	24.2	8.6	8.8	0.15	0.05	0.01	13	1.70
2°	24	8.4	8.8	0.18	0.05	0	12	2.52
3°	24	8.6	8.8	0.16	0.05	0.02	11	2.22
4°	23.5	8.3	8.7	0.16	0.05	0.02	10	1.85
5°	23.5	8.2	8.7	0.16	0.04	0.01	12	2.15
6°	23.9	8.3	8.8	0.16	0.05	0	11	2.0
7°	23.2	8.1	8.8	0.15	0.03	0.02	10	2.42
8°※	15	8.2	7.1	0.15	0.01	0.02	11	1.4
9°	23.1	8.1	8.8	0.17	0.03	0.01	13	1.8
10°	22.6	8.2	8.7	0.18	0.03	0.01	11	1.5

※7°と同一場所で湖底8m

表3 調査3

昭和55年9月4日

項目 採水 場所No.	水温 (°C)	DO PPM	PH	アン モニ ア-N mg/l	亜硝 酸 mg/l	リン 酸-P mg/l	塩素 イオン mg/l	COD PPM
1°	22.9	9.6	8.9	0.09	0.02	0.01	9.0	2.5
2°	23	9.4	8.9	0.06	0.02	0.05	8.5	2.7
3°	23	9.8	8.9	0.08	0.01	0.04	7.5	2.3
4°	23	10.0	8.9	0.07	0.02	0.03	12	2.4
5°	23	9.7	8.9	0.07	0.01	0.03	11.5	2.4
6°	23	9.1	8.9	0.07	0.02	0.01	11.5	1.6
7°※1	14	※	7.8	0.38	0.01	0.03	10	1.9
8°	23	9.6	9.0	0.07	0.01	0.01	9.5	2.3
9°※2	19.3	※	7.4	0.54	0.01	0.09	10	1.7
10°	22	10.2	8.9	0.06	0.02	0.01	10	2.4
11°※3	13.5	※	7.1	3.4	0.01	0	9.5	1.6
くらげ こけむし				15	0.2	0.20		

※1 6°と同一場所で湖底8m

※2 8°と同一場所で湖底6m

※3 10°と同一場所で湖底8m

測定器具は、PH、アンモニア、亜硝酸、リン酸については、Hach chemical Company製の直読式分析器を、DOについては電気化学計量KKのDO-3S型を、C

ODはセントラル科学K K C O D—H C 207型を $cl^-$ は同社 $cl^-12S$ 型を使用した。

#### 4. 考 察

##### (A) D O (溶存酸素)

水中に溶解している酸素の量で、D Oのいちじるしい減少がいわゆる湖の死であって水中の生物は生育ができなくなる。表4から調査3の9月初旬の測定では最低最高値は他の2回に比べて高い値であった。植物プランクトンの光合成作用によって生産される酸素、とくに湖水共通の現象として光合成の酸素生産ピークはよく晴れた日の正午から午後4時までにおこるので、時季と天候からみてこのような結果が得られたと考えられる。

表4

	最低値PPM	最高値PPM
調査1	6.5	8.2
〃 2	8.1	8.6
〃 3	9.1	10.2

##### (B) P H (水素イオン濃度)

湖水のPHは生物作用の影響を受けて大きく変化する。光合成で植物が水中の炭酸を消費すると、重炭酸塩( $HCO_3^-$ )が平衡を保つために一部が分解して炭酸を補充する。この際生ずる水酸イオン( $OH^-$ )のために水はアルカリ性となる。水草や植物プランクトンが豊富な湖水の上層部の水は夜間は中性であっても、日射の強い晴天の日中とくに午後にはPHが10~11程度にもなる。天然の湖沼についてのPHはふつう6~8程度である。

調査結果の(1)を除いては何れもPHの高い値を示し、その平均値は(2)と(3)ではそれぞれPH 8.8, 8.9のアルカリ性であった。これは時季的に藍藻のアオコが表層に相当量みられたり、珪藻のホシダカケイソウ、メロシラなどの活動が活発に行われていて、あきらかに湖の栄養化を物語っている。

また、湖底より採水した※印の4検水については透明度も1.5 m程度なので、光の影響が少なく光合成作用がほとんど行われなため中性附近のPHを示していた。

##### (C) アンモニアとリン酸

この2つの物質はたん白質の構成成分であって、自然

界より流入する量はごく少量で、人や家畜の排泄物、その他生活排水が湖に流入したり、畑や田に使用された堆肥や化学肥料の一部が流入し、栄養塩として水中のプランクトンや他の水中生物の生産を多くし富栄養化現象を促進する代表物質である。

ふつう、貧栄養湖と富栄養湖のちっ素の境界は0.15 PPMであるが、調査(1)ではどの場所でもちっ素の濃度は2倍以上であったが調査(2)と(3)については境界限度かまたはそれ以下であった。

このことについては、人為的活動が一番はげしく行われる7月、8月に当然湖水の汚濁が高いことと考えられるが、調査(1)の10月中旬は、湖の水の対流作用によって上下の水がいちような性質となるためであり、調査(2)、(3)については7月、9月は水温が高く、また日射も強いので微生物や植物プランクトンの活動がきわめて盛んで、そのため表面に近い水はかえって無機栄養塩類の減少をきたすためである。

リン酸については、リンは動物の骨の成分であるリン酸カルシウムや筋肉や神経などにふくまれているレシチンの中に存在しているので、人が摂取することによってふくまれていたり、農家のリン酸肥料の使用によってリン成分が湖中に流入する。また、最近とくに社会問題となっているリンをふくむ洗浄能力の高い化学合成洗剤が普及し、ABS洗剤などの界面活性剤の洗浄効果をさらに高める目的でビルダー(補助剤)としてトリポリリン酸ナトリウムやケイ酸ナトリウム、増白剤などが添加されている。しかも、このようなリン含有洗剤はホテル、旅館などでは一般の家庭とはくらべものにならないほどの多量の洗剤がつかわれていたため、リン酸がにわか増加しはじめた。

リン酸の貧栄養湖との境界はリンとして0.02 PPMとされていて、一般の湖水の可溶性リンの濃度は0.010~0.030 PPM程度である。

本調査では、調査(1)~(2)において何れも0.02 PPMかそれ以下であった。調査(3)での平均濃度は0.03 PPM、湖底からの水には0.09 PPM、境界の4.5倍、という高濃度のリンが検出された。調査(3)では植物性プランクトンの増殖期で無機塩類は消費されているにもかかわらずこのような値を得たことは、部分的にかなり多量のリン酸が溶けていることと思われる。

##### (D) $cl^-$ (塩素イオン)

河口湖へ流入したり、湧出したりする天然の水に $cl^-$ や塩素化合物がふくまれているとは考えられない。 $cl^-$

河口湖の水質汚濁について

はすべて人為的活動の結果、湖水に搬入されたものである。当然人口密度の高い場所を指定して検水した。

調査(2)の平均は11 PPM, 調査(3)の平均は10 PPMであった。調査(3)で低い値であったのは、アンモニアやリン酸と同様な理由と思われる、また7月中旬から8月下旬までの天候は雨天の日が多かったため、雨水の流入も若干関係があるのではないかと考えられるが今後なお検討を要する課題である。

(E) COD (化学的酸素要求量)

有機物汚染の程度を示す1つの単位 (PPM) で、湖や海における水質汚濁の尺度をあらわすために使用される。BOD (生物化学的酸素要求量) とことなり測定が短時間ですむ便利さがある。また生活環境に係る湖水の環境基準の1項目であって、この値が少なければ少ない程よいことになる。

本調査では、調査(1)ではCOD 1.3~2.0PPM 調査、(2)では1.4~2.5, (3)では1.6~2.7 PPMの値であった。現状では環境基準A類型, COD 3 PPM以下にあてはまっているが、調査(3)において 2.5 PPM以上の場所はホテルや旅館の処理排水が直接流入する場所に近いので高濃度を示し、近い将来に於ては3 PPM以上になるのではないかと懸念される。

(F) クラゲコケムシ *Pectinatella magnifica* (Leidy)

7月26日採水の際、船津湖畔のボート桟橋の柱や桁の浸水部をカバーするかの如く厚さ10cm~15cm程で一面に付着している寒天状群体を住民に示されて、早速研究室に持ち帰り、ワレカラの研究をされている本学の有元教授にお尋ねしたところ、コケムシの一種と判明、さらに先生を通じてコケムシの権威者馬渡静夫先生に紹介したところ、北アメリカ産の *Pectinatella magnifica* (Leidy) であることがわかった。また馬渡先生によって、日本語で「クラゲコケムシ」と命名されていることもわかった。

この生物は、河口湖では1972年10月に確認されている。最初は「淡水水母」と誤認されていたが、本種は日本産のカンテンコケムシに群体が似ているが、その体芽の周辺に錠型の棘を10数本もっていることで区別される。北アメリカ東部の特産である。

現在は柴山瀧、河口湖、精進湖、印幡沼で発見されている。

本種の体腔液は人体には直接影響はないが、魚介類にはかなり強い毒性があり、北アメリカでは同様のコケムシのために養魚池の魚がいっせいに死んだり、コケムシ

の群体とともに網にかかった魚がすべて死ぬほどの被害が報告されている。

本調査では、コケムシを採取し5分程放置してよく水をきった後、両手でしぼり、そのしぼり水を検水とした。手はべとつくほどの粘性性を感じ、淡水魚特有の強い魚臭がした。

アンモニアは15 PPMで当日の水のほぼ 160倍の濃度を示し、亜硝酸は 0.2 PPMで水の12倍、リン酸は0.77 PPMで16倍の高濃度の結果を得た。

5. ま と め

表 5

項目	年度	47	48	49	50
PH		7.5	7.6	7.6	7.7
DO (PPM)		9.3	9.6	9.9	9.4
COO (PPM)		2.3	2.5	2.3	2.4

表 6 貧栄養湖と富栄養湖の相違点 (吉村, 1939)

特 徴	貧 栄 養 型	富 栄 養 型
水 色	藍または緑	緑~黄, 水の華のためときにいちじるしく着色
透 明 度	大 (> 5 m)	小 (< 5 m)
反 応	中性付近	夏の日中表層は強アルカリ性
窒素, PPM	少量 (N < 0.15)	多量 (N > 0.15)
リン酸, μ	少量 (P < 0.02)	多量 (P > 0.02)
けん濁物質	少量	プランクトンとその屍体多量
溶 存 酸 素	全層を通じて飽和に近い	表水層は飽和または過飽和, 深水層は欠乏
沿岸植物	少, 深所まで生える	多, 浅所にのみ繁茂
底 生 動 物	種類多く, 量も比較的多い, 標兆種はクニタルススまたはセルゲンチア	種類は少いが量は多い。標兆種はキノムス・プルモス
植物プランクトン	貧弱, 主にケイ藻よりなる	豊富, 夏はラン藻の水の華, この外ケイ藻, 虫藻も多い
動物プランクトン	貧 弱	豊富, ワムシ類多し
遊水動物	貧弱, マス, ウグイ多し	豊富, コイ, フナ, ウナギ, ワカサギ多し
湖底堆積物	有機物に乏しい, ケイ藻骸泥卓越	骸泥または腐泥

表5は山梨県において昭和47年～50年に河口湖の水質調査をしたときの年平均の測定結果である。また表6は貧栄養湖と富栄養湖の相違点(吉村, 1939)である。

DOについては、調査(1)(2)(3)の順序で溶存酸素は増加している。調査(2)では飽和付近、(3)ではあきらかにどのデーターも過飽和の状態であった。これは水草や植物プランクトンの光合成作用がきわめて盛んで、生産される酸素と空気から溶けこんだものと合わさって、飽和度100%以上になったものと考えられる。

PHは貧栄養湖では中性付近のばあいが多いが富栄養湖では上層水中の植物プランクトンが光合成作用のため水中のCO<sub>2</sub>をとるので日射の強い昼間ではどうしてもアルカリ性になりやすいので、表(2)(3)ではPH 8.9以上のアルカリ性を示していた。

ここで、湖底の水のPHがきわめて小さな値であるのは、湖底の動物のいとなみ呼吸作用と微生物による有機物の分解作用はともに酸素を吸収して炭酸を遊りするので酸性化してPHは小さい値をとっている。

いづれにしても、水の中に新陳代謝の自由にできる物質が存在していることはあまり好ましいことではない。山梨県調査の表5とは条件がちがうので比べることはできないが、それにしてもかなり高い値を示している。

また湖沼の環境基準のAAおよびA類型のPHは6.5～8.5と定められている。

栄養塩類の中にふくまれるちっ素とリン酸は表6からちっ素で0.15P P M以下、リン酸は0.02P P M以下が富栄養他現象を進行させない目安とされている。

ふつう、河口湖のような温帯湖は、春季、秋季の2回湖水の対流によって、水温や化学組成が上下いちようになる循環期がある。循環期の最後にあたる時期は、上層において栄養塩の濃度が最大のときになる。この頃から植物プランクトンの増殖はさかんになり、やがては無機栄養塩類は減少して植物プランクトンが死ねば深層へと沈下する。夏の最中に栄養塩類を測定すれば、富栄養湖ではゼロに近いばあいがある。表(3)でアンモニアのちっ素分がとくに少ないのは、このような現象と思われるが表(1)(2)ではちっ素が多く溶けていることは富栄養化があらわれていることと推察される。

リン酸中のリンについてデーターを示したが、0.02P P Mを中心にばらつきのある結果が得られた。貧富栄養湖の限界にあることはたしかである。当然栄養塩類の減少するはずの調査(3)の9°で異常に多い値を示したことについては湖底の沈殿物や底泥の今後の調査によらなければならぬことと思われる。

コケムシについてのわが国に搬入された経路もその生態の文献も乏しいので、詳しいことは不明である。ショッキングで厄介な生物である。しかもこの生物は住民の話しによると毎年増加しつつあると聞く。

コケムシをつつむゼリー状の物質にはちっ素やリンが大量にふくまれていることから、プランクトンと同じように富栄養化を促進する生物であることを認めざるを得ない。またこの生物に対する影響や処置なども早急な課題ではないだろうか。

最近の報道によると、全国の湖沼においてCODの環境基準の達成率をみると、51年度は40.7%だったが53年度は37.6%と低下し、逆に栄養塩が増加してプランクトンが異常繁殖し、赤潮やアオコの発生によって、異臭、自然景観の破壊、漁業被害のほか、飲料水にいたるまで影響をおよぼすようになったといわれる。

このような現象はおもにちっ素とリン酸が原因であることは早くからわかっているが、赤潮やアオコの発生についてのメカニズムには未解明の部分が多く残ってはいるが、ちっ素やリンの環境基準値を定めるよう、早急な抜本的な防止策を決めることが必要である。

#### 参 考 文 献

- 1) 小泉清明：昭和56年 川と湖の生態 P.20～40 共立出版KK.
- 2) 鈴木静夫：昭和50年 日本の湖沼 P.29 内田老鶴剛新社
- 3) 津田松苗：昭和50年 日本の湖沼の診断 P.104, P.137～138 共立出版KK.
- 4) 富士急行KK：昭和47年 創立45周年記念誌、富士山周辺の湖沼 P.191～192 富士急行KK.
- 5) 馬渡静夫：昭和48年 Proe. Jap. Soc. Syst. Zool. No.9 動物分類学会
- 6) 山梨県：昭和45年 富士五湖の水質調査報告書 P.13
- 7) 吉田保健所：昭和40年 河口湖水汚染環境調査報告書 日本医科大学 書 P.3