

山中湖の水質汚濁について

—BOD, CODの測定—

高橋恒夫

1. はじめに

水中に栄養分が少なく、プランクトンの少ない湖を貧栄養湖といっているが、この貧栄養湖は数百年ないし数千年、あるいはそれ以上の年月の経過のうちに、陸地から流入する河川水によって絶えず栄養分が運ばれて、やがては富栄養湖になる運命¹⁾にあるが、人間の一生涯の短い年月にこの現象がおきてもさほどその変化が感じられないのがふつうである。

ところが、日本の一部の湖沼では、例えば諏訪湖・琵琶湖・霞ヶ浦のような湖でさえも富栄養化現象がおきつつある。この原因はすべて人の活動によるもので、事業所などから排出される污水や別荘・ホテル・民宿・キャンプ場その他レジャー施設からの生活排水が多量に流入し、急に湖沼を汚濁し、富栄養化によって生物相にも影響をもたらしているが現状である。

本調査は首都圏近くにあつて、中央高速では一時間三十分程度で到達できる国立公園内の富士五湖の一つである山梨県の山中湖について、閑散期と観光期との二期を対象に水質の調査を行った。

調査は、水質の汚濁を目的としているので、汚染源である有機物が微生物だけによって酸化分解されるときに消費される酸素量であるBOD(生物化学的酸素要求量)と被酸化物質のすべてを酸化するのに必要な酸素量であるCOD(化学的酸素要求量)についてのみ対象とした。

2. 山中湖の現状

山中湖は、水面海拔高度は982m、湖岸線13.5km、面積6.5km²、平均深度9.2m、最大深度13.2m、容量0.06km³²⁾、静振周期³⁾15.2分の湖で、夏には水温が水面で27℃前後、冬は結氷する温帯湖である。湖底は大部分が砂礫であつて、平野の湾形内の一部分に薄層の底土が

見られる。

湖岸の河川については、名称のある一之砂川、大堀川、二の橋、一の橋の下の河川はいつでも水無川となっているにもかかわらず、桂川水源流出口から湖の水が流出しているのは降雨水や富士山の雪がとけて、その水が地下を通過して湖に流れ込む⁴⁾ためである。

つぎに周囲の人的環境であるが、山中湖村の固定人口については、表1⁵⁾で人口は増加しているものの水質に影響をおよぼすとは考えられない。むしろ観光・保養関係の建物や施設の大型化と急激な増加、それに伴って観光者の収容人員の急増が汚濁と結びつくと考えられる。表2⁶⁾から昭和52年には6年前と比べて建物は30%の増加がわかる。

とくに言えることは、海拔982m、面積僅か6.5km²の湖にレジャー求めて訪れる人の流動状態である。Fig-1⁷⁾は昭和45・51・52年の各ヶ月の観光客の流動状態を示したもので、昭和52年には閑散期の3月でさえも65,600人、ピーク時の8月には623,600人の多数が訪れている。Fig-2⁸⁾は年間の流動を示したもので、昭和52年は45年と比べて874,600人も増加し年間2,722,300人が訪れている。

表1 山中湖村の人口推移

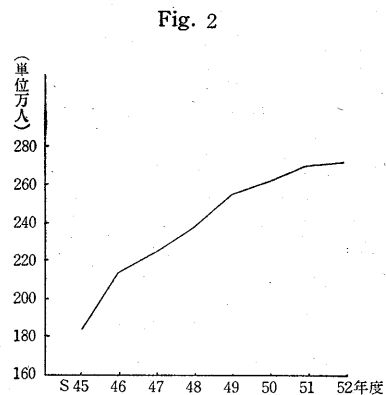
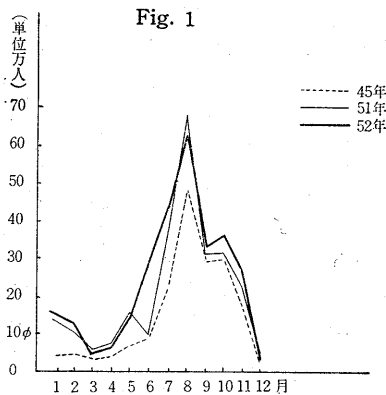
年度	世帯数(戸)	人口(人)
昭和20年	568	3,396
30	723	4,024
40	741	3,862
45	860	4,044
46	901	4,155
47	931	4,282
48	931	4,304
49	944	4,344

表2 観光関係建物戸数

各年1月1日調

区別 年度	個人所有貸寮	個人別荘	ホテル・旅館	会社寮	官公庁・学校寮	キャンプ場	合計
昭和46	231	1,665	33	384	43	12	2,368
47	262	1,770	35	407	43	12	2,529
48	278	1,885	35	420	43	12	2,673
49	293	1,956	35	430	44	12	2,770
50	309	2,045	36	455	46	12	2,903
52	320	2,154	44	488	46	12	3,064

表3



採水日	昭和42年9月1日				昭和53年1月6日							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
場所												
温度°C	19.5	19.5	22.2	21.2	6	5.8	5.2	5.2	5.4	6	6	6.5
水深m	4	4	4	4	8	8	8	7	4	表面水	2	表面水

採水日	昭和53年7月4日								昭和53年8月12日							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
場所																
温度°C	27.8	25	23.9	25.1	25	25.8	24.5	24.8	27.2	27	26.8	26.8	26.8	27.2	27.0	26.7
水深m	表面水	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	表面水	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

したがって、毎年湖水の汚濁負荷量も多くなり、水質にも、また生物にも何らかの影響をもたらすものと推量される。

3. 採水

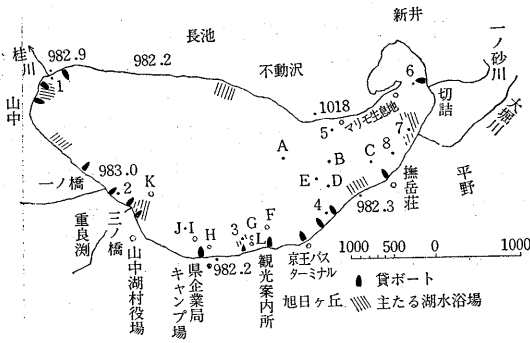
採水の時期は、昭和52年9月1日(A・B・C・D)、同53年1月6日(E・F・G・H・I・J・K)、同8月12日(1・2・3・4・5・6・7・8)、同8月12日(1・2・3・4・5・6・7・8)の27ヶ所で4度

にわたって採水した。

これらの採水については、訪れた客のピーク直後の9月、1月の閑散期、ピーク時のなかでも、水上スキー、モーターボート、水泳、キャンプなど直接水を汚すと考えられる7月と8月の4期に分けて、手こぎボートを取り、北原式の採水器によって採水した。

採水の場所は図1に示してある。採水時の水温と水深は参考までに表3に示した。採水の時刻は何れも08:00~11:00の間に行った。

図1 山中湖採水地点



なお表3で採水場所の数字が同一なのは、7月4日と8月12日の採水場所は同一ヶ所で試みた。

操作は採水器で採取し深度と温度を測定し、ただちに500mlのポリタンに移し、多量の氷を入れてあるアイスボックスに収納、検水を5°Cに保って、車で大学研究室まで輸送した。

4. 実験

公共用水域の水質汚濁に係る環境規準は、人の健康の保護および生活環境の保全に関してそれぞれ定められている。とくに生活環境の保全に関する基準は、湖沼では利用目的の適応性に依じて4類型に分けられていて、その基準値はPH・COD・SS（浮遊物質）・DO（溶存酸素）・大腸菌数の5項目を対象に定められているので、人の活動よっての汚源である有機物を重視して、BODとCODについて調査した。

4.1 BODの測定

BODとは水中の有機物は好気性微生物の作用を受けて徐々に安定化していく。これを自浄作用と呼び、この浄化過程で消費される酸素量（mg/l=重量ppm）のことで、20°Cで5日間で消費される溶存酸素量で表わされる。この測定にはJISに定める滴定法のウィンクラアジ化ナトリウム変法で測定すべきだがこの方法では操作が煩雑で、多数の検水を一齐に行わなければ微生物による有機物質の分解量に差が生ずるので、BODテスター（K・K環境科学センター製）を用いて行った。

このテスターについては図-2で示すように恒温水槽の中で20°C、5日間の培養が始まると、ふらんビン中の検水に含まれている有機物は微生物によって分解されて溶存酸素が消費される、それに伴って二酸化炭素が放出されるが、それはアルカリ液の吸収剤で吸収する。検

水中の溶存酸素の消費に伴って空間部（気相）より酸素が補給されるので、空間部の酸素分圧は低下する。空間部はつねに一定の相対圧を保とうとする作用のため、ビューレットの下端より水を吸入する。したがって、吸入水量が酸素容量となる。

そこで、下記の気体状態の方程式から酸素の容量を重量に換算するとBODを得る。

$$\text{BOD}(\text{mg/l}=\text{重量ppm}) = \frac{32 \times \alpha}{0.082 \times (273 + 20)} \times \frac{1000}{\beta}$$

$$= 1.332 \times \frac{\alpha}{\beta}$$

β：検水量（ml）

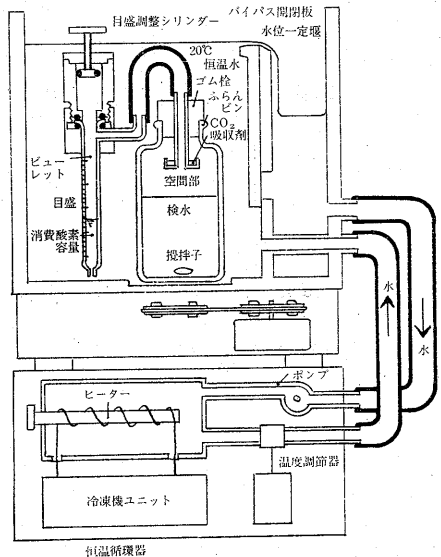
α：検水βml中の有機物が微生物によって分解されるときに要した正味の酸素消費量（ml）

0.082：気体定数（22.4÷273）

4-2 測定操作

測定にあたって、その日の大気圧によってビューレット内の水位は変化するので、200mlのメスシリンダーに通気水約190mlを取り、予め調整したりん酸塩緩衝液*1 1mlと無機塩液3種*2を0.2mlずつ添加して通気水で200mlにしたものをふらんビンに入れて温圧計とし測定のパースラインにした。検水についても全く同じ操作で行い、二酸化炭素の吸収剤は30%の水酸化ナトリウム溶液2mlを用いた。

図2



ふらんビンユニットをセットした後、恒温水槽内に入れ、20°C、5日間の培養を行った。

※1. リン酸二カリウム (K_2HPO_4) 21.75g, リン酸一カリウム (KH_2PO_4) 8.5g, リン酸二ナトリウム ($Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$) 44.6gおよび塩化アンモニウム (NH_4Cl) 1.7gを水にと
 かけて1000mlにする。

※2. 硫酸マグネシウム ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) 22.5gを水にと
 かけて1000mlとする。

塩化カルシウム ($CaCl_2$) 27.5g //

塩化第二鉄 ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) 0.25g //

4-3 測定結果

測定の結果については下記の表4の1, 2, 3, 4に示した通りである。

4-4 COD測定

この測定法は、JIS, K0102.13に定める過マンガン酸カリウムを用いる方法であるが、前記同様操作の煩雑さ

表4-1 昭和52年9月2日午前採水のBOD値
 1800測定開始

	温圧計	A	B	C	D
9月2日	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
9月7日	2.25	2.65	2.55	2.50	2.40
α 値 (ml)	/	0.4	0.3	0.25	0.15
β 値 (ml)	/	200	200	200	200
$BOD(1.332 \times \frac{\alpha}{\beta})$ ppm	/	2.7	2.0	1.7	1.0

と、一検体について長時間を要するので、検水のCOD値をppm単位で直示するJISに準じたCODメーター(セントラル科学k.k製)を用いた。

この方法は、定量する成分と急速にしかも定量的に反

表4-2 昭和53年1月6日午前採水のBOD値

18.00測定開始

	温圧計	E	F	G	H	温圧計	I	J	K	L
1月6日	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
1月11日	2.4	2.45	2.50	2.45	2.45	2.40	2.70	2.60	2.45	2.45
α 値 (ml)	/	0.05	0.10	0.05	0.05	/	0.3	0.2	0.05	0.05
β 値 (ml)	/	200	200	200	200	/	200	200	200	200
$BOD(1.332 \times \frac{\alpha}{\beta})$ ppm.	/	0.3	0.7	0.3	0.3	/	2.0	1.3	0.3	0.3

表4-3 昭和53年7月4日午前採水のBOD値

18.00測定開始

	温圧計	1	2	3	4	温圧計	5	6	7	8
7月4日	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
7月9日	2.70	3.10	2.85	2.90	2.95	2.75	3.50	3.15	2.90	2.85
α 値 (ml)	/	0.4	0.15	0.20	0.25	/	0.65	0.40	0.15	0.10
β 値 (ml)	/	200	200	200	200	/	200	200	200	200
$BOD(1.332 \times \frac{\alpha}{\beta})$ ppm	/	2.7	1.0	1.3	1.7	/	4.3	2.7	1.0	0.7

表4-4 昭和53年8月12日午前採水のBOD値

18.00測定開始

	温圧計	1	2	3	4	温圧計	5	6	7	8
8月12日	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
8月17日	3.05	3.20	3.15	3.15	3.80	3.20	3.30	3.40	3.40	3.30
α 値 (ml)	/	0.15	0.10	0.10	0.75	/	0.10	0.20	0.20	0.10
β 値 (ml)	/	200	200	200	200	/	200	200	200	200
$BOD(1.332 \times \frac{\alpha}{\beta})$ Ppm	/	1.0	0.7	0.7	5.0	/	0.7	1.3	1.3	0.7

註 ふらんピンを水槽内にセットした後、ビューレット内の水位を一定に調整し、5日間の培養後検水の水位の値から温圧計の値の差が酸素消費量の α 値である。検水量200mlが β 値である。

山中湖の水質汚濁について

応する物質を電解によって発生させ、これを定量成分との間に化学的な二次反応を行わせ、反応終結点を電氣的に求める。

終結点までに消費された電気量（電流×時間）から定量成分の量を測定する電気滴定法であって、この装置における過マンガン酸カリウムの定量は、15% H₂SO₄、AgSO₄ (Cl⁻のマスキング)、Fe(SO₄)₃で調整された混合液を加えてFe³⁺を電解によってFe²⁺に還元する。生成したFe²⁺は加熱酸化後残存する過マンガン酸カリウムと反応し、電解は過マンガン酸カリウムが消滅するまで続けられ反応終点は指示電極によって検出され、メーターの作動は止まる。この時消費された電気量から過マンガン酸カリウムが定量されて、これをCODメーターで直示する方法である。

4-5 測定操作

専用ピーカーに蒸留水*³ 20 ml, 1/40 規定の過マンガン酸カリウム溶液 1 ml, 上記の調製された硫酸酸性の混合液 10 ml を加え、時計皿で蓋をし、専用熱装置で正

味 5 分間加熱後、ピーカーの標線の 30 ml まで蒸留水を補充し直ちに測定を行う。スターラーの回転および指針が停止したら、ツマミを調整してメーターの指示を 0ppm に合わせて、ブランク補正を行う。検水については、ブランク補正の際の蒸留水を検水 20 ml に置きかえるのみで、操作は全く同じようにして測定する。

*³ イオン交換水は有機物が完全に除去されないので蒸留水を用いた。

4-6 測定結果

測定結果は下記の表-5 に示した通りである。

表5 7月4日, 8月12日採水のCOD値

採水場所 日時	1	2	3	4	5	6	7	8
7月4日	1.1	1.3	1.1	1.0	1.9	1.2	1.1	1.0
8月12日	2.2	1.4	2.3	1.2	1.3	1.6	1.1	1.3

註 CODメーターは本年の5月に購入したので7月と8月における検水について測定を行った。

表6 過去5年間の山中湖BOD, COD測定値

46年	6月30日	8月18日	11月18日
BOD (ppm)	0.7	1.0	0.7
COD (ppm)	0.8	0.6	0.6

47年	7月21日	8月9日	12月15日
COD ppm	1.5	1.5	2.6

48年	7月19日	8月20日	1月8日
COD ppm	2.3	2.5	2.2

49年	7月29日	8月18日	1月3日
COD ppm	2.2	2.1	2.0

50年	6月24日	8月18日	1月13日
COD ppm	2.3	2.7	1.9

5. 考察とまとめ

山中湖村においては、ホテル・民宿・寮・別荘などの大部分は13.5kmの湖の周囲を取りまく道路沿いに位置し、これらの多数の施設や湖上レジャーのモーターボート・水上スキー・水泳などによって湖水の汚濁がもたらされる。

まず、BOD値については表4-1, 3, 4は夏期に、表4-2は冬期に測定したデータで、明らかに夏期にはBOD値の高い結果を得ている。

とくに、表4-3の検水5についてBOD 4.3 ppm という大きな値については、採水場所が水上スキー基地の近くであり、スキーの最盛期であったためか湖岸には30 cm 以上の鯉や10 cm 程度の鮒の死骸が打上げられているのが見られ、スクリナーによって切断された水藻が浮遊していて明らかに他の場所より汚れているのが認められ

た。

また、表4-4の検水4についても5.0 ppm の高い値が出ているが、これは湖岸と道路の間にキャンプ施設や付近に湖水浴場があるため生活排水や人的活動によって一時的ではあるが汚れたものと考察される。

つぎに、COD値であるが、訪れる人数の最盛期の前と最盛期について測定してみたがやはり後者の方が汚濁が大きいことがわかる。採水場所と回数が少ないので、平均値をもって云々するのは適当と思われないが一応の目安として平均値で表わすと、7月4日は1.2 ppm, 8月12日は1.6 ppm の値をとり、やはり最盛期の汚濁の進み方が大きくなっている。

山梨県の富士五湖水質調査結果報告によると、採水場所はいずれも湖心で、表6⁹⁾の報告がされている。

これによると、昭和46年以降は観光客の激増に伴って、BOD・CODがやはり増加していることがわかる。もともと湖の南岸や西岸は砂礫層できわめて水を浸透

しやすい層となっているので、降雨水や地下水に諸施設の排水が混入して、湖線の流入や湧水となったことも一応考えられる。古い報告ではあるが、昭和41年の山中湖汚染周辺環境¹⁰⁾によると、便所の調査対象288例中、水洗便所は210例で、この中の134例が浄化槽がなく底ぬけ様式となっている。また、浄化槽があっても通過した尿尿の排水槽が途中で中断されて土中に滲透しているのが殆んどであったことが報告されている。

このような事実と観光客人口の急増から、やがては湖面全域が汚濁されて富栄養化の危険性が予想される。

すでに昨年より本年にかけて、湖岸一帯にシジミ貝の異常発生がおきたり、周辺の人話によれば天然記念物に指定されているフジマリモの生息も危ぶまれ、最近ではマリモの姿さえも見られなくなったという。

ちなみに、芦の湖の観光客による汚濁が問題になったことがあるが、観光客数(人)/湖水面積(m²)の値から比べると、昭和51年で芦の湖は0.46、山中湖の52年は0.41の値をとっているので大変に懸念される値である。

以上のことから、湖の富栄養化現象の抑制や、湖辺の自然環境の保全については、責任機関は、観光・保養施

設の増加増設や排水処理の方法や、土壌型の分類、水棲動植物の生息条件などの生態学、流域構造や流量の測定など水文学の知識や水質分析の技術¹¹⁾の立場から充分検討し汚濁化の進行を防ぎ、将来にわたって湖沼環境基準のA類型を維持したいものである。

参考文献

- 1) 津田松苗：日本湖沼の診断 p.2, 昭和50年共立出版株式会社.
- 2) 富士急行KK創立45周年記念：富士山 p.186. 昭和47年 富士急行
- 3) 鈴木静夫：日本の湖沼 p.43 昭和50年 内田老鶴園新社.
- 4) 同上：同上p29 同上
- 5) 山中湖役場資料
- 6) 同上
- 7) 山梨県商工労働部調査資料
- 8) 同上
- 9) 山梨県：公共用水域測定結果表(山中湖) 昭和46, 47, 48, 49, 50年
- 10) 吉田保健所 日本医科大学：山中湖湖水汚染周辺環境調査 p.27. 昭和41年
- 11) 島津康男：環境アセスメント p.69. 昭和52年 日本放送出版協会