

貯水池水質の総合調査

電力中央研究所 安芸周一

秋元 保

志賀陽一

下田 修

1. まえがき

貯水池への長期貯留による河川水の水質変化機構を解明する目的で、電力中央研究所は規模、立地条件などが特徴的な数ヶの貯水池を選定し、同所の土木、生物、化学の各部門が協力し、精細かつ総合的な水質調査を実施している。

貯水池の築造による河川水の水質変化現象は先づ灌漑用水に関連した冷水現象として昭和20年代の後半から研究が行なわれ、一応の成果を収めていた。しかし、この時点の研究は貯水池の水質変化機構を貯水池内の流れとの関連のもとに把握しうるには至っておらず、貯水池水質の本格的な調査、研究が開始されたのは近年の濁水長期化現象を契機とする昭和40年代の後半である。

著者らが濁水長期化現象の調査、研究に従事する過程で、貯水池水の汚濁は必ずしも無機質の粘土鉱物の懸濁によるもののみでなく、有機物質による汚染、いわゆる富栄養化現象も無視しえないことが検知された。貯水池の水質変化現象は大ダムの築造の歴史とともに始まったことであろうが、近年の急速な顕在化は高度成長下における流域の産業構造、生活形態の変化と無縁ではないものと考えられる。

本調査研究は流入水の水質と貯水池の流動形態の相互関連のもとに生ずる水質変化の機構を解明し、貯水池の水質保全に必要な流域管理および貯水池運用操作の指針を見出す目的で実施されているものである。調査研究はまだ初期の段階であり、十分な成果が得られるに至っていないが、ここでは昭和50年度におけるH貯水池での調査結果とそれに基づく貯水池水質の総合評価について述べるものとする。

2. H貯水池と調査方法の概要

Hダムおよび貯水池は九州東南部に建設された大規模な発電専用貯水池である。ダムおよび貯水池の諸元を表-1に、また貯水池水質の要因である流域の自然および社会的環境を表-2に示す。

貯水池の流域はその大半が山林であり、林相は良い。しかし、流域の地質は四万十累帯と呼ばれる泥質の堆積岩で主として構成され、多雨地帯に当ることもあって、強雨時には多量の微細粘土鉱物粒子を懸濁する濁水が貯水池に流入する。貯水池は典型的な成層型貯水池であり、貯水池の流動形態との関連のもとに顕著な濁水長期化現象の見られる地点である。このため、濁水現象の軽減対策として発電所取水口に選択取水設備が設けられている。

貯水池の水質調査の概要は次のとおりである。

(1) 定期観測点

図-1に貯水池平面図および定期観測点を示す。定期観測点の概要は表-3に示すとおりであるが、貯水池内のSt.2、St.3は水温2次躍層の存在する範囲、St.3はそれより上流である。

(2) 調査回数

昭和50年度の調査は50年4月より51年3月にかけて、原則として毎月1回、各月の10日前後に調査を実施した。また、濁水現象や生物活動など水質現象の変化が急と考えられる8、9月については調査を1回追加し、それぞれの月の25日頃実施した。

表-1 Hダム・貯水池の概要

ダムの高さ	130 m
貯水池総容量	$258 \times 10^6 \text{ m}^3$
有効容量	$156 \times 10^6 \text{ m}^3$
たん水面積	6.86 km^2
貯水池長	22 km
流域面積	415 km^2
設計洪水流量	$4,500 \text{ m}^3/\text{sec}$
年平均総流入量	$6.055 \times 10^6 \text{ m}^3$
最大使用水量	$137 \text{ m}^3/\text{sec}$
貯水池 H.W.L	El. 200
“ L.W.L	El. 170
取水口敷標高	
表層	水面下 4 m
中層	El. 160

(3) 調査項目

調査項目は水質、生物、底質の3つであり、その内容は表-4に示すとおりである。

なお、定期観測の他に貯水池と大気との熱収支機構、貯水池の流動特性に関する現地観測も併せて行なわれた。

3. 水文・気象状況と貯水池の流動形態

人工の貯水池の水質は流入、流出水の影響を強く受けるため、当該年度の水文・気象状況が水質を支配する大きな要因と考えられる。

昭和50年度は台風5、6号による大きな出水が各地に生じた年であるが、九州地方はその影響を免かれ、H貯水池においては記録的に出水の少ない年で、水文・気象状況はおおむね静穏に推移している。日平均流量が $100\text{m}^3/\text{sec}$ を越えたのは年間6回であり、その最大は6月下旬に生じたピーク流量 $442\text{m}^3/\text{sec}$ （既往最大 $3,600\text{m}^3/\text{sec}$ ）の出水である。貯水池の月別流入量および日平均流量 $100\text{m}^3/\text{sec}$ 以上の出水を表-5、6に示す。年間総流入量は $994.1 \times 10^6\text{m}^3$ であり、既往10ヶ年平均の94%である。貯水池水の年間交換回数を目安になる指標 α （年間総流入量/貯水池総容量）は $\alpha=3.8$ 、出水規模を示す指標 β （1洪水総流入量/貯水池総容量）は最大で $\beta=0.74$ である。気温は春から夏にかけては平年並であったが、残暑が厳しく、また暖冬であった。

このように比較的静穏な水文・気象状況に呼応して、貯水池には受熱期に安定した水温成層の形成が、また放熱期には対流混合による水温成層の次第な消滅が観測され、典型的な成層型貯水池の流動形態が認められた。

貯水池水位、水温の年間の変化を図-2に示す。昭和50年度の流入水はすべて貯留と発電放流によって処理されており、洪水吐は用いられていない。水温分布は例年のように4月には表層から昇温をはじめ、5月には昇温した流入水が取水口に達し、6月以後9月まで、表層に1次躍層、取水口標高付近に2次躍層を有する安定した水温成層が形成されている。この間、表層および深層水は停滞し、池水の流れは中間の流動層に限られている。ただし、6月の出水後、濁水対策として7月15日から8月15日の1ヶ月間、取水口を中層取水口から表層取水口に切り替えており、この間は表層が流動層に、また、中層、深層が停滞層になっている。

10月以後、放熱期に入ると池水は表面から冷却され、対流混合によって表層から次第に水温成層が消滅して行く。例年1月下旬か2月上旬に池水は最低水温に達し、全層にわたる対流混合、いわゆる大循環を生じ、池水は全面的に一樣水温になるのが通例である。しかし、昭和50年度は暖冬であったため、2月に最低水温に達した時点でも表層、

表-2 流域の概況

人口	3,368人(昭和50年度)
人口密度	8.1人/ha
水田面積	10,202アール
畑面積	753アール
牛	162頭
豚	126頭
山林面積	400ha

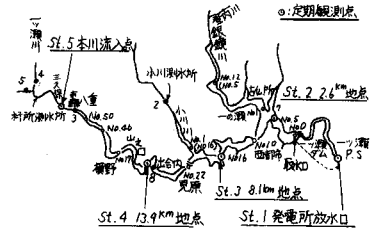


図-1 H貯水池平面図

表-3 定期観測点の概要

定期観測点	水深	調査項目
St. 1 発電所放出口	3~5m	水質, 生物
St. 2 貯水池底	10.5m	水質, 生物, 底質
St. 3 〃 8.1km	8.5m	〃 〃 〃
St. 4 〃 13.9km	4.5m	〃 〃 〃
St. 5 本川流入点	1~2m	水質, 生物

表-4 分析項目

	分析項目	観測ならびに分析方法	回数
水質	水温	湖内水深1mおよび流入流出水1点	1/月
	PH(水素イオン濃度)	湖内10mおよび流入、流出1点、PHメータ	〃
	DO(溶解酸素量)	〃 ウィンター法	〃
	濁度	〃 濁度計	〃
	懸濁物懸濁度分布	〃 コルター・カウンター	1/2月
	SS(固体懸濁物質)	〃 1μmガラスフィルター	1/月
	蒸発残渣	〃 計量	1/3月
	T.N.(全窒素)	〃 ケルダール法	1/月
	NH ₃ -N(アモニア態窒素)	〃 インドフェノール法	〃
	TP(全リン)	〃 海洋観測用計8.8法	〃
生物	PO ₄ -P(リン酸塩リン)	〃	〃
	TOC(全有機炭素)	〃 全有機炭素計	〃
	COD(化学的酸素消費量)	〃 過マンガン酸カリ酸化法	〃
	動物プランクトン	湖内10mおよびXX13ネット吸引分網計数	7/年
	植物	湖内10mおよび採水、分類、計数	〃
	着棲生物	付着板5~10cmおよび毎月採取分網計数	6/年
	底棲生物	採泥器により採取、分類、計数	5/年
	強熱減量	採泥器により採取、500~600℃加熱	3/年
	T.N	〃 ケルダール法	〃
	T.P	〃 海洋観測用計8.8	〃
底質	COD	〃 過マンガン酸カリ酸化法	〃
	Fe	〃 原子吸光法	〃
	比重	〃 JIS.A.1202-1970	〃
	粒度	〃	〃

中層の水温は深層水よりも高く、大循環の生じないまま、すなわち深層水は停滞したまま昭和51年度の受熱期を迎えたのである。これは著者らの数年来の貯水池水質観測においてはじめて認められた現象である。

このように、昭和50年度におけるH貯水池の流動形態は出水規模が例外的に小さかったこと、および暖冬のため大循環が生じなかったことの2つで特徴づけられ、これが当該年度の貯水池水質に大きな影響を及ぼしているものと考えられる。

4. 貯水池の水質

4.1 水質の概況

前章で述べたような池水の流動形態と流入水の水質の相互関連のもとに、特徴的な水質現象が観測された。出水が少なかったため、例年問題になる濁水現象はあまり認められず、池水の濁度は低く、おおむね清澄であった。一方、成層化した貯水池では池水の栄養塩レベルに応じた活発な生物活動が観測され、それに関係する物理、化学的水質現象が認められた。以下、流入水、貯水池水、流出水にわけて水質の概況を示す。

4.2 流入水の水質

自記連続観測の行なわれている流量、水温、濁度については年周期的特性が良く把握されている。しかし、月1回の定時観測による化学的、生物学的水質はかなり不規則に変動しており、量的、質的に変化の大きい自然河川の水質を十分に把握しきれていないきらいがある。

流入水の水質は変動しているが、変動の季節的な変化傾向も認められないので、観測値の平均で示すと表-7のようになる。

河川の水質、特に栄養塩の排出量と流域特性の関係については幾つかの研究成果が報告されている。ここでは霞ヶ浦に関する調査結果を用いて、H貯水池流入水のCOD、リン、窒素濃度を類推すると表-8のようになり、表-7の数値はこれに較べて2~5倍に当る。この原因は明らかでなく、現在供給源解明のための詳細な調査計画が検討されている。

一方、在来の自然湖沼に関する研究によって、湖沼の富栄養化を促進させないための栄養塩負荷量の許容レベルとして図-3が提案されている。表-7にH貯水池へ

表-5 月別総流入量

月	月別総流入量
4	50.4
5	88.65
6	258.89
7	106.32
8	112.11
9	30.25
10	51.04
11	38.50
12	46.96
合計	994.04
α	3.8

表-6 100m³/sec・day以上の出水

期 間	総流入量	β
4/7~4/21	54.89×10 ⁶ m ³	0.21
6/20~6/28	194.65	0.74
7/30~8/1	28.75	0.11
8/21~8/22	21.34	0.08
10/7~10/8	15.01	0.06
2/28~2/29	29.24	0.11

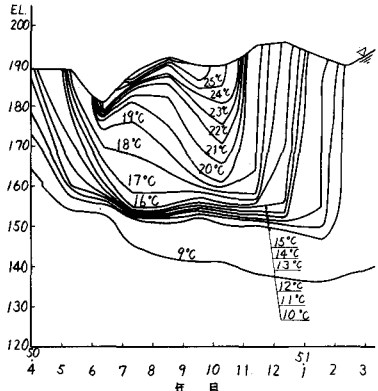


図-2 貯水池水温鉛直分布

表-7 流入水の栄養塩濃度と負荷量

	平均濃度	年間負荷量	年間負荷量 貯水池面積	許容レベル	危険レベル
COD	1.33 ppm	1,404t/年	205g/km ² 年	g/km ² 年	g/km ² 年
全窒素	0.646	681	99	3.2	6.5
全リン	0.030	32	5	0.2	0.4

表-8 原単位による総流出量と濃度

流出源	総数	COD		全 窒 素		全 リ ン	
		原単位	総流出量	原単位	総流出量	原単位	総流出量
人 口	3,368	20.2g/人日	248.3t/年	10.63g/人日	13.07t/年	2.94g/人日	1.16t/年
牛	162頭	530g/頭日	31.34t	378g/頭日	22.35t	56g/頭日	3.31t
豚	126	130g/頭日	5.98t	40g/頭日	1.84t	25g/頭日	1.15t
農 地	1.02km ²	64t/km ² 日	23.83t	14t/km ² 日	5.25t	290g/km ² 日	0.11t
山 林	4.10km ²	3,740g/km ² 日	600.64t	668g/km ² 日	107.28t	59g/km ² 日	9.48t
合計			186.62t		149.78t		15.21t
濃 度	合計		0.65 ppm		0.142 ppm		0.014 ppm

の負荷量および図-3 から得られた許容および危険レベルを併記したが、流入負荷量は危険レベルの10倍のオーダーである。人工の貯水池は自然湖沼に較べて池水の交換が一般にはるかに頻繁に行なわれ、かつ池水の流動形態の違いから負荷量が蓄積されにくく、富栄養化の進行はおそいものと考えられるが、ここで得られた栄養塩濃度は決して低いものとは考えられない。

4.3 貯水池水の水質

貯水池水は年間を通しておおむね清澄であり、図-4 に示すように秋から冬にかけて8m近い透明度を示した。春から夏にかけて透明度は2m程度であるが、これは後述するような表層付近の生物活動によるものと考えられる。

貯水池水の栄養塩濃度は水深および季節によってあまり差が認められない。貯水池内の水質変化は比較的緩慢であるから、月一回程度の測定で十分その性状を把握しうるものと考えられる。栄養塩濃度の年間の平均値は表-9 に示すとおりであり、ほぼ流入水の濃度と同様である。栄養塩濃度による湖沼の栄養度の分類を表-10 に示すが、H貯水池の水質は富栄養の側に寄った中栄養の状態にあると言える。

この栄養塩濃度を背景として、停滞している表層では活発な生物活動が認められた。生物活動を物理、化学的水質から評価すると図-5 のようになる。表層のPH、DOは夏季を中心として著しく高い値を示している。これは藻類による盛んな光合成作用の存在を示すもので、炭酸ガスの消費により水素イオン平衡がアルカリ側に片寄ること、および酸素の排出により溶存酸素が増加することによる。CODを生物量の目安とすれば、これも夏季の表層では著しく高い値を示している。中層以外のPH、CODは流入水とほぼ同様であり、冬期になると生物活動の低下および対流混合により貯水池内の分布は一様化される。DOは貯水池の流動形態と良く対応した変化を示している。PH、CODも同様であるが、昭和50年4月においては前年度の冬期に生じた大循環につづく成層期の初期であるため、中層、深層のDOは飽和状態に近い。そして流動層に当る中層のDOは年間を通してほぼ飽和状態に近い。これに対して停滞している深層ではDO

表-9 池内の栄養塩濃度(年間平均値)

は有機物の分解に消費されて次第に低下し、年度末には飽和状態の約40%になっている。例年では1月末か2月始めに生ずる大循環によってDOは全層にわたって飽和状態に回復するはずであるが、当該年度には冷却が

栄養塩	観測点	St.2	St.3	St.4	全体平均
全窒素		0.675 PPM	0.831 PPM	0.544 PPM	0.683 PPM
全リン		0.018 "	0.029 "	0.033 "	0.027 "

表-10 リンと窒素濃度による湖沼の栄養度

湖沼型	全リン量 mg/l	全窒素量 mg/l
貧栄養湖	0.002 - 0.02	0.02 - 0.2
中栄養湖	0.01 - 0.03	0.1 - 0.7
富栄養湖	0.01 - 0.09	0.5 - 1.3
河川	0.002 - 0.23	0.05 - 1.1

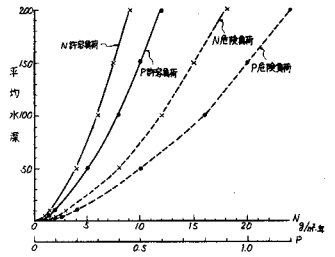


図-3 平均水深とN・Pの許容負荷及び危険負荷の関係

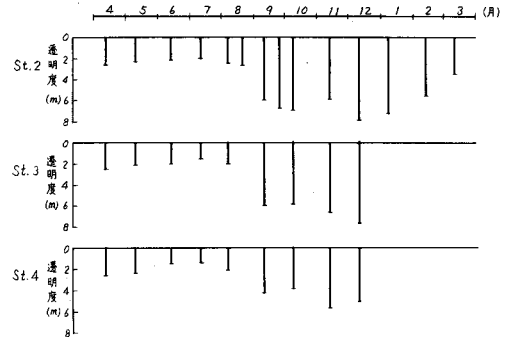


図-4 貯水池の透明度

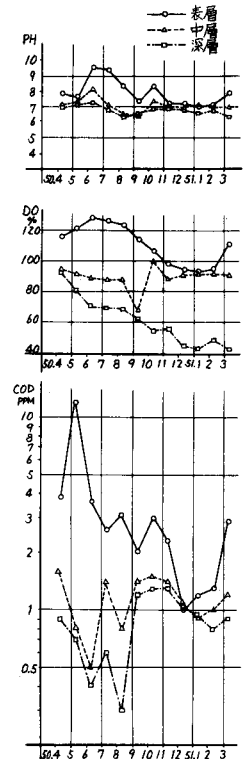


図-5 貯水池内のPH、DO、CODの年間変化

深層にまで及ばなかったため、DOの低下したまま翌年の成層期には入っている。調査は継続されており、昭和51年7月には深層の一部でDOは飽和状態の数%に低下していることが観測されている。

貯水池の動植物プランクトンは最盛期で植物68種類、動物27種類が観測され、冬から春にかけて淡水赤潮の発生も認められた。動植物プランクトンはともに水面から水深20m以内にその大半が繁殖している。プランクトンの優

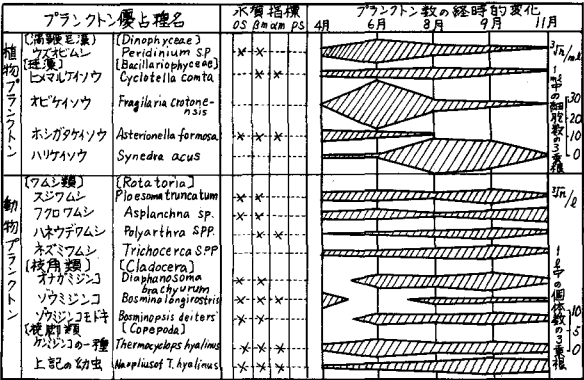


図-6 プランクトン優占種の季節変化と水質指標

占種とその水質指標および季節の変動を図-6に示す。プランクトンの水質指標から表-11 流入、見ても貯水池水は中栄養の状態にあるものと評価される。

観測点2に付着板を懸垂して着棲生物を調査した結果でも、図-6の植物プランクトンと同様な優占種の出現および季節の変動が認められた。

4.4 流出水の水質

流出水は取水口の標高に応じ、取水範囲の貯水池水と同様の水質を示した。水温は春期には流入水を下廻り、冬期には上廻りという成層型貯水池の特性が見られた。ただし、8月の表層取水口使用期間は水温が約4℃急上昇している。流出水水質の年間平均値を表-11に示すが、PHは中性、DOは飽和状態を若干下廻る程度である。その他の成分も流入水、池水と同程度であり、貯留による変化は特に認められていない。濁度の年間平均値は3PPMであり、清澄であった。

4.5 底質と底棲生物

貯水池内の底質は平均比重2.66のシルトで観測点毎の相異はあまり認められない。底質の強熱減量は平均5.3%である。底棲生物はイトミミズ、ユスリカが主体であり、最盛期にはイトミミズ13,600個体/m²が観測されている。底棲生物の種類と現存量からも貯水池水は中栄養の状態にあるものと評価される。

5. まとめ

H貯水池の昭和50年度水質調査結果を検討し、富栄養化の観点から貯水池水質は中栄養の状態にあるものと評価した。貯水池の流域人口は3,400人(人口密度8.5人/km²)で、水質汚染物質を排出するような産業もなく、流域はむしろ過疎化の傾向にある。流域人口密度は電力用大規模貯水池($\alpha < 20$)45個のうちほぼ中位に当るものである。このような立地条件の貯水池でかなり高レベルの栄養塩濃度とそれに対応する活発な生物活動が観測されたことは、同様の立地条件の貯水池が数多く存在することから、貯水池水質現象に関する一つの警鐘と考えられる。貯水池水質の物理的側面については既にある程度の理解が進んでいる。しかし、貯留による水質変化の重要な因子である生物活動については不明な点が多く残されている。栄養塩ないしは微量成分など生物活動の原因物質とその供給源および原因物質の貯水池への蓄積機構の解明が今後の研究課題である。

人工貯水池の水質は当該年度の水文、気象条件の影響を強く受ける。特に洪水は大きな因子と考えられ、昭和50年度の水文、気象条件が過去に例を見ない程静穏かつ温暖であったことから、昭和50年度の現象のみでH貯水池の水質を一般的に論ずることはできない。本調査は今後も継続される予定であり、水理、地質、生物、化学に関する多面的な検討により、貯水池水質の実態解明と水質保全対策の検討を進める計画である。

以上