

1 はじめに

洪水時の河川水は、懸濁態粒子を多量に含み、この懸濁粒子に伴う多量の栄養塩の供給が湖内の水質汚濁に及ぼす影響については未解明な点が多い。また、湖内における濁水の流動特性は、出水の大きさ、水温躍層の強さ、湖盆形態、ダム操作等により変化し、濁度分布及び濁水の長期化に影響する。一方、貯水池を取水源とする浄水場では、湖水の高濁度化及び長期化により凝集沈殿等に伴って発生する膨大な固形物量を如何に処理するかが問題となる。

本報告は、このような貯水池の濁水化について昭和56年8月の台風15号、昭和57年9月の台風18号を例に検討したものである。また、湖水に異臭水が発生している場合の選択取水に対する考慮と新生堆積物の特性が平常時と出水時とで如何に変化するか検討した。

2 貯水池の濁水化

2-1 調査方法 釜房ダムは仙台市近郊に位置し、昭和45年に築造された多目的ダムである。同ダムの概要を図-1に示す。常時満水位の平均水深は11.6mで、旧河道を除けば比較的浅いU字型の貯水池である。漆沢ダムは仙台市北方70kmに位置し、昭和55年に築造された多目的ダムで、河川がほぼ同一地点に流入し、平均水深は21.7mで、V字型の貯水池に属する。

釜房ダムの濁水調査地点を図-1に示す。漆沢ダムは湖内4地点で調査した。両ダムの諸元を表-1に示す。

濁水の主な調査項目は、水温、DO、濁度である。水温はサーミスタ温度計、DOはYSI社製DOメーター57型、濁度は東邦電探FM-5型水中濁度計により測定した。

2-2 台風15号による出水(昭和56年8月23日)

台風15号による釜房ダム流域平均雨量は173mmで、流入量のピークは8月23日午前11時に442m³/sを示し、図-2に示すようにダム水位は出水前より約4m上昇し、以後コンジットゲート等の放流により制限水位前後を保持した。また、濁水先端の流動速度をダム水位上昇及びダムサイトの自動水温観測データの変動から推算すると17~24cm/sであり、出水時の濁水水温は17~18℃前後、濁水先端の流入標高はEL. 135~140m付近であった。一方、調査期間中の流入河川最高濁度は900度(流入量ピーク4時間後)である。

図-3~図-5に、台風15号前後の釜房ダム及び漆沢ダムにおける濁度、水温及びDOの飽和百分率分布を示す。台風以前の8月13日では、藻類の生産活動によりDOは過飽和を示しており、底層水温は11~12℃で水深20m以深でDOはゼロであった。台風後の8月24日では、130m、135m付近の濁度減少及び飽和百分率の増加によりこの水深に低濁化した河川水の流入があったと考えられる。EL. 133、120mの濁度ピークは出水時初期に流入した濁水が残存したものと判断できる。また、EL. 117mの濁度ピークは、先端濁水が出

表-1 ダム諸元

ダム名 形式	釜房ダム	漆沢ダム
	直線重方式 コンクリートダム	中央コア型 ロックフィルダム
集水面積 (km ²)	195.3	58.9
湛水面積 (km ²)	3.9	0.8 ^a
総貯水量 (×10 ⁶ m ³)	45.3	18.0
常時満水位 (m)	149.8	270.5
制限水位 (m)	143.8	261.5
コンジットゲート数 (m)	123.0	256.0
計画高水流量 (m ³ /s)	1650	650

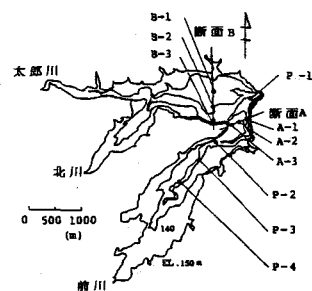


図-1 釜房ダムの概要

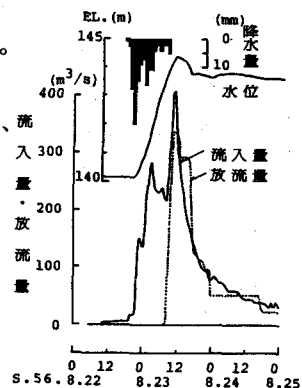


図-2 台風15号の出水状況

水前の水と置換したものであり、断面①、②の濁度分布より北川水系の濁水が流入したものであろう。また、断面③-1、2の濁度分布に差があり、濁水の流動が地形の影響を受けることが知れる。コンジットゲートによる放流が終了（8月27日）後の8月31日では濁度は底層を除けば100度以下に低下した。9月7日の濁度は底層へ直線的に増加し、懸濁物質の沈降が進んでいる。9月7日から21日までの間では降雨はほとんどなく、EL. 130 m では1日当たり2～3度の濁度減少となっている。

一方、9月25日、26日にかけ総降水量93mmの雨により9月27日午前2時に最大79m³/sの出水があった。この出水による濁水は流入部では底層に流入し、P-2 付近より底層を離れダムサイトではEL. 130 m 付近に到達している。

また、断面①においてEL. 130 m 付近の濁度に注目すると左岸ではほとんど濁度の増加はなく、右岸（旧河道）寄りに濁度の増加が認められる。断面①は旧河川が右岸寄りに急激に迂回する所であり、濁水の流動が地形や濁水の慣性力等の影響により変化するのが認められる。

一方、図-4は同じく台風15号による漆沢ダムにおける濁度分布である。流入部は濁度10度であるが、ダムサイトの6 m 以深で400度以上の濁度が残存している。また、濁度が急激に上昇する水深で水温躍層の逆転が認められ、流入水温を考慮するとこの躍層が逆転する最低水温の水深に河川水の流入があると考えられる。高濁水は懸濁物質を含むことによりその水塊の密度を増加するので流入水とは容易に混合できず流入部付近では水深7 m 付近に侵入するものの、ダムサイトでは水深3 m 付近を流動し取水口へ流下している。

この結果を、9月7日の釜房ダムの濁度分布と比較するとダムサイトの水深10 m で約370度程漆沢ダムの方が濁度が高い。その理由は洪水吐の差による。釜房ダムでは、出水後の水位はほぼ制限水位にありEL. 123 m 付近のコンジットによる放流を4日間行っている。この水深約20 m から高濁水の放流が濁水の減少を比較的早めている。漆沢ダムでもコンジットゲートからの放流を出水後4日間行っているが、その期間の水位はEL. 262～260 m で、せいぜい水深6～4 m の濁水の放流に留まっており、制限水位時にコンジットゲートによる放流が洪水の調整には有効であっても、濁水の低減化のためには十分有効であったとは言い難い。

また、図-5に示したように、水温躍層付近では濁度の緩やかな増加に伴い飽和百分率の低下がある。これは濁水中の懸濁物質によるDO消費があるいは藻類の呼吸、分解によるものかは明確ではない。ただし、濁水中の懸濁物質によるDO消費は後述するように無視できないと考えられる。DOの減少は9月21日ではさらに進み水深15 m 以深の飽和百分率は出水前の8月13日のレベルに戻っている。また、この期間中、河川

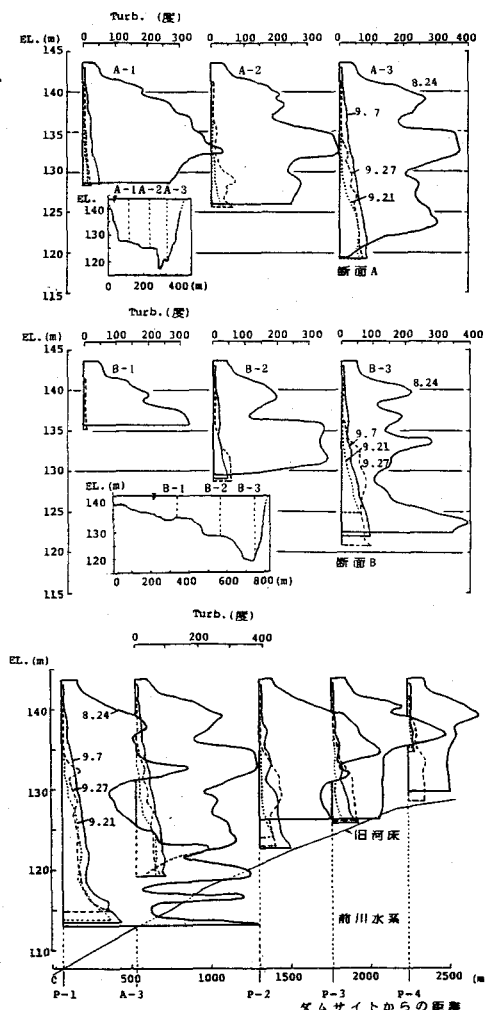


図-3 台風15号後の湖内濁度分布（釜房ダム）

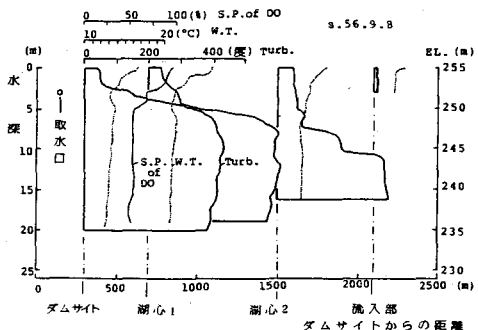


図-4 台風15号後の湖内濁度分布（漆沢ダム）

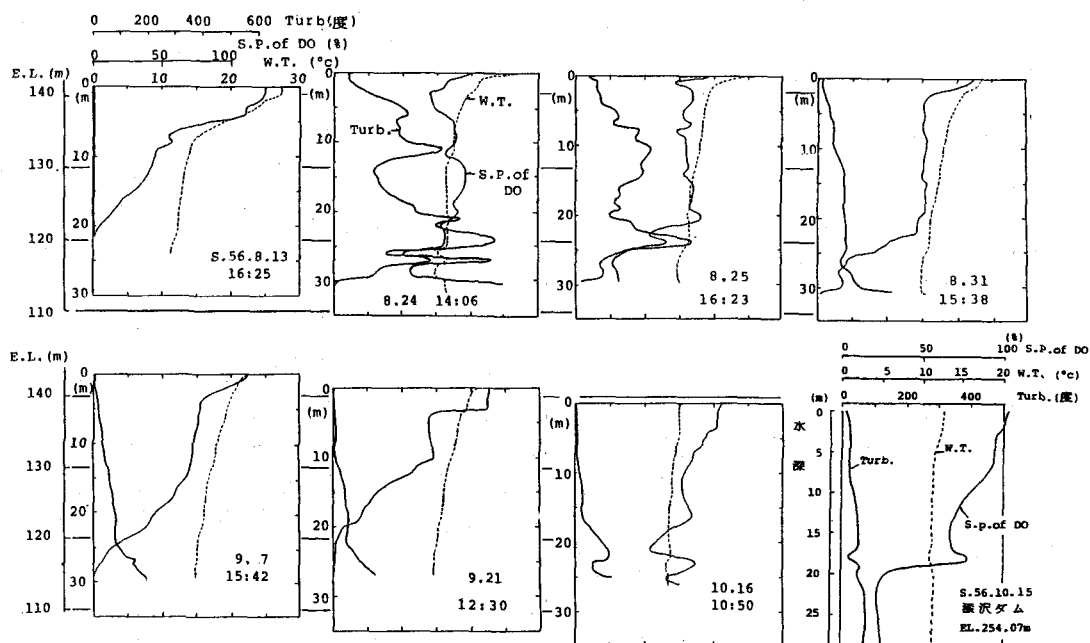


図-5 台風15号後の水温、濁度、DO飽和百分率分布(釜房・漆沢ダム)

水温から河川水は水深10~15mに流入可能であるが、流入河川水が中層付近に流入しないとすれば底層付近の飽和百分率はさらに低下すると思われる。これは、10月16日の釜房ダム、10月15日の漆沢ダムの水質鉛直分布によく現われている。釜房ダムでは水深16及び23m付近に河川水の流入があると考えられ、底層付近の飽和百分率は50%以上である。一方、漆沢ダムでは、水深18m付近に河川水の流入があり、水深20m以深の飽和百分率は20~25%と低く釜房ダムの約1/2で、濁水の長期化により底層付近では濁水の懸濁物質によるDO消費が進んだと考えられる。

一方、図-6は、流入濁水及び湖水の粒径分布である。分布はRosin-Rammler線図で示してある。流入3河川の濁質の50%径は6.5~12 μ m、均等係数10~35と大きいが、8月24日の湖水(24.5m水深)では、それぞれ1.9 μ m、8.6と小さくなり、貯水池は大きな沈殿池の機能を果たしている。

3 新生堆積物の季節変動

3-1 調査方法 釜房ダムの水深5、10、20mに沈殿ビン(内径105mm、高さ200mm)をダムサイト最深部付近に設置し、昭和57年6月7日から昭和58年1月21日まで合計14回の沈降物質の採取を行った。この新生堆積物の沈降量、強熱減量(650℃、2時間)、T-P含有量、沈降プランクトン量及びBOD値を求めた。

3-2 実験結果及び考察 図-7に、降水量、流入量及び新生堆積物の季節変動を示す。6月から9月までは例年に比較し降水量、流入量が多く、特に9月12日の台風18号は、流域平均総雨量は160mmと前年の台風15号より少ないが、典型的な集中豪雨型であり、また、台風以前の長雨も影響し最大流入量が824 m^3/s と、ダム湛水後最大の出水となった。単位面積当りの沈降量は5<10<20mの順に多く、出水の変動に追従して変化している。台風後の沈降量は激増しており、水深20mでは出水の影響の少ない時期の沈降量の数十倍に達している。調査期間中の総沈降量は水深5、10、20mでそれぞれ、1.04、3.19、13.8 kg/m^2 である。9月6日から22日までの堆積物は粘土成分が主体と考えられ、沈降物の平均比重2.6、沈降時含水率50%として堆積厚を試算すると水深10m、20mでそれぞれ0.29、0.89cmとなる。一方、漆沢ダムでは9月10日から15日にか

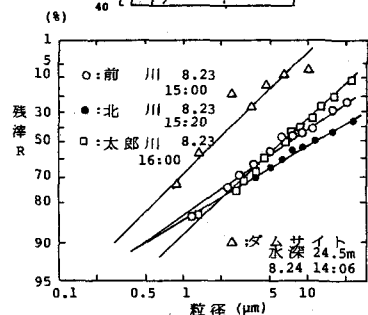


図-6 出水時の粒径分布(昭56年)

けてダムサイトの水深10、20mに設置した沈降ビンに捕集された堆積物厚はそれぞれ2.0、6.5 cmであった。この差は先述のように漆沢ダムでは高濁水の放流が十分行えず高濁水の残存によると考えられる。

8、9、10月の表層では藍藻類のPhormidiumが優先種であるが、珪藻類以外は沈降中あるいは堆積後に分解され易いのでプランクトン数は主に分解後も殻の残る珪藻類によるものである。単位堆積物当りのプランクトン数は8月25日、9月6日採取分が他に比較し突出している。これは小規模出水による栄養塩流入とその後の気象、水温が藻類の生産活動を高めたと推察される。9月22日、10月4日採取分は台風18号により堆積物は無機成分を主体とするため単位堆積物当りのプランクトン数は激減している。また、冬期でもプランクトン数は比較的多い。水深別に比較すると出水の影響の少ない7月や冬期では単位堆積物当りのプランクトン数は $5 < 10 < 20\text{m}$ の順で多くなるか、出水の影響のある場合は $5 > 10 > 20\text{m}$ となる。

単位堆積物量当りのT-P含有量としては、主に藻類等の有機懸濁物、土粒子の無機懸濁物への吸着に由来するものなどが考えられるが、藻類に由来するT-P分は沈降過程で分解を受け水中に回帰するものもあり、沈降とともにその含有量は低下する。この傾向を明確に示すのが8月25日採取分である。一般に、T-P含有量は $5 > 10 > 20\text{m}$ の順に低くなっている。また、8月及び冬期にT-P含有量が高く、藻類生産量の影響が伺える。台風後の9月22日採取分では水深10mでT-P含有量は $0.52\text{mg} \cdot \text{P} / \text{g}$ 、20mで $0.40\text{mg} \cdot \text{P} / \text{g}$ である。この値を金房ダム流域土壌のT-P含有量と比較すると、山林、牧草地、畑、水田がそれぞれ0.40、1.15、1.99、 $0.85\text{mg} \cdot \text{P} / \text{g}$ であるのではば山林土壌程度となる。

堆積物によるBOD値をBOD試験法に準じて15日間測定した。試験結果は有機物量100mg 当りの酸素消費量 y_t に換算し、次式でL値を求めた。 $y_t = L(1 - e^{-kt})$ 、L：初期残存BOD、k：反応速度係数、t：時間。ここで、L値とBOD₅を比較するとBOD₅はL値の60~70%であった。L値の水深方向の変化は、 $5 > 10 > 20\text{m}$ であり、表層で生産された藻類の沈降過程における分解の影響が伺える。台風後は濁水の影響によりL値は小さく、出水の影響の少ない夏期、冬期にL値が大きい。ただし、沈降物を採取する期間中にある程度堆積物は分解を受けるので、L値は湖水中の溶存酸素消費量としては評価し難い（図-8参照）。

新生堆積物の季節変動をみると台風等の出水時には単位沈降量当りのT-P含有量、L値は小さいが、総量的に考えてみると、平常時に比較し同等以上となる。これらの結果から濁水の長期化が湖水のDO消費に与える影響は無視できない。また、出水によってもたらされる懸濁態栄養塩がバクテリアの介在により藻類増殖を助長させるという報告があり、今後濁水の滞留時間や沈降速度、鉛直方向の混合強さ、懸濁態栄養塩の

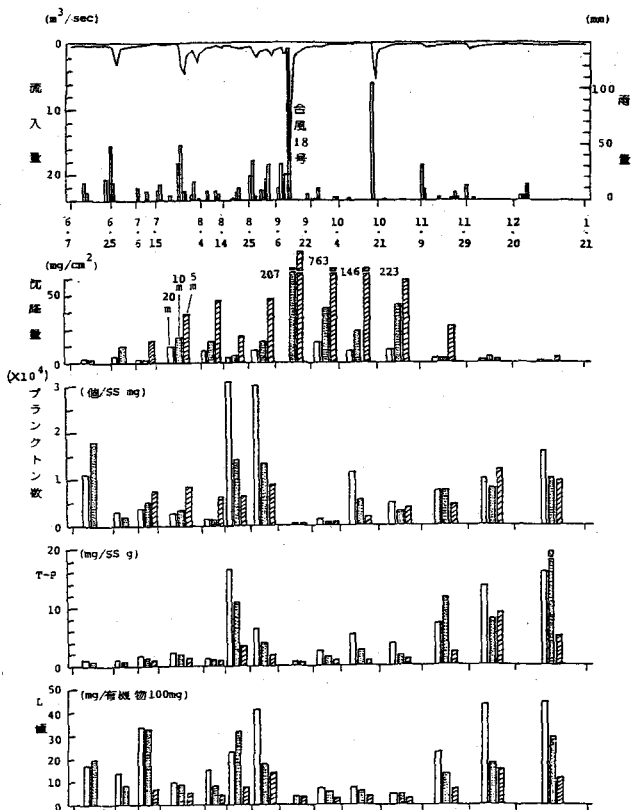


図-7 新生堆積物の季節変化（金房ダム、昭和57年）

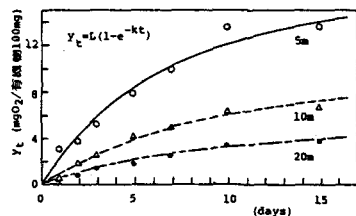


図-8 BODの経日変化

藻類などによる利用率等を含め、さらに検討することが必要であろう。

4 高濁水取水による浄水場への負荷

貯水池から直接取水する浄水場では、高濁度取水をできるだけ回避するため、高濁水の放流や選択取水が行われる。しかし、表層付近に強い臭気濃度があり、異臭水除去に粉末活性炭を使用する場合、表層の異臭水取水か、中層付近の高濁度取水かが問題となる。台風15号前後におけるダムサイトの臭気濃度(TO値)の変化を図-9に示す。出水直後の8月24日でも表層で臭気濃度は20、9月1日には30を示し、消滅は認められない。特に9月1日の表層は生物総数3,380個/mlのうちPhormidiumは2,340個/mlと優先種となっているが、水深8m以深では26個/mlに減少し、臭気濃度も減少している(図中のハッチ部分はPhormidium数)。

一方、図-10に示すように8月25日では透明度が0.35mと低下し、光は下層まで到達し得ないが表層でChl-aは $7\mu\text{g}/\text{l}$ 、8月27日には強光阻害の影響が認められ、水深2mでピーク値 $9\mu\text{g}/\text{l}$ と8月13日と同じレベルにある。このことから、表層付近の濁度が減少した水塊では濁度はあるものの藻類の生産は活発であり、前述のようにPhormidiumの増殖が十分可能であったと考えられる。

このように釜房ダムでかび臭が出水により消滅しなかった理由を濁水の流動の面から考えてみる。図-3に示したように出水時の高濁水及び出水後の河川水は表層ではなく中層付近に流入し、放流も中層から行われているため、異臭水の強い表層水は水温躍層及び下層の濁水による密度増加により容易に下層の水と混合できず、放流されにくい状況にあったと考えられる。これに対し、図-9中の漆沢ダムでは台風18号以前に表層で臭気濃度20を示したが台風による出水で消滅した。これは、図-4に示したように当ダムでは出水後の河川水は表層を流動するため、異臭の強い表層水は流出したためと考えられる。図-11は、釜房ダムを取水源とする茂庭浄水場における昭和56年の原水濁度、異臭水除去のための粉末活性炭量、凝集剤注入量及び固形物発生量である。湖水には8月上旬よりPhormidiumが原因と考えられるかび臭が発生し、粉末活性炭注入を開始したため、凝集剤注入率が増加し、発生固形物量は約3倍に増加した。

このかび臭発生により8月中旬より取水口をEL.137mより数m取水口を下げ臭気濃度の低い湖水を取水し、活性炭注入量及び発生固形物量が減少している。一方、出水後においても臭気濃度の小さい中層から取水をしているため活性炭注入量が小さい代わりに高濁度水を取水し、8月31日でも原水濁度130度、凝集剤注入率80ppmを余儀なくされている。これに対し、図-12に示すように昭和57年の台風18号では前年の台風より大きな出水であったにも拘らず、表層の臭気濃度が小さく、出水後の取水位置が表層付近であったので、低濁度水取水が可能であり、台風18号による濁水の影響も約1ヶ月半続いたが、原水濁度の低下は早く、発生固形物量は大幅に減少している。

茂庭浄水場における昭和47年から9年間の原水濁度は最高80度で、70度を越えたのはわずか5日である。昭和55年では、原水濁度70度以上は4日間でこの期間における年間発生固形物量に対する比率は3.6%であった。昭和56年では、200度以上を示した2日間で年間発生固形物量の11.3%、100度以上(12日間)で39.2%、20度以上(39日間)では61.7%に達し、年間発生固形物量は昭和55年の2.4倍に増加した。また、台風後、8月23日から9月26日までの発生固形物量は昭和55年の年間発生固形物量の1.4倍に達した。このような台風による濁水により発生する多量の固形物量を浄水場内で如何に吸収するかが問題となる。高濁度時は高濁度水の濃縮・脱水性の良さ、脱水処理サイクルの増加により、脱水処理固形物量が平常時の約3倍となるが、発生固形物量に追いつけない(図-13参照)。

浄水処理が高速凝集沈殿-急速砂ろ過系である場合、沈殿池、排泥池、濃縮槽に

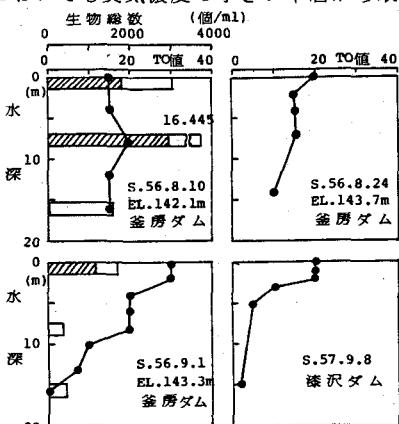


図-9 臭気濃度、生物総数の分布

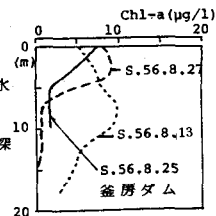


図-10 Chl-aの分布

よる固形物変動の吸収は難しい。また、配水池の容量は計画1日最大給水量の8～12時間を標準とするので、高濁水時の取水制限を長時間は実施できない。高濁水による発生固形物量の変動は、複系統取導配水、横流式沈殿池、脱水処理時間延長、薬注による処理速度の増加、天日乾燥床の併設等により吸収することができる。ただし、高濁度時の浄水・排水処理費用をできる限り節約するためには、浄水場でハード、ソフト両面から組織的対応が必要とされる。

5 おわりに

出水時における貯水池内の密度フロントや選択放流等の研究が進み、湖内での濁水流動についてかなり明らかになってきている。

一方、本報告で述べたように、異臭水の発生と湖水の濁水化現象が同時に発生する場合、これを取水源として水利用する際に新たな問題を生じる。また、出水により流出する懸濁粒子の生物化学的影響については未だ十分解明されていない。これらは、出水規模、ダム形態、ダム操作等が複雑に影響するので、貯水池を利用する側は、流域及び湖内の水質管理に対し、より一層の配慮が必要である。また、ダム管理は、ダム放流水を取水源とする場合などの下流域の環境への影響を考慮し、多目的に利用される水を有効に使用することが必要であろう。

謝 辞

最後に、本研究を行なうにあたり、建設省釜房ダム管理所、宮城県漆沢ダム管理事務所、仙台市水道局、宮城県保健環境部の方々に多大なる御協力をいただき、ここに感謝の意を表する。また、実験では、高橋修君（現仙台市役所）の協力を得た。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 玉井信行：密度流の水利、土木学会編新体系土木工学、1980
- 2) 高橋 修：湖沼における沈降物質の特性に関する研究、東北大学卒業論文、昭58.3
- 3) 宮永 他：貯水池内における濁度および栄養塩の挙動の数値解析、第22回水理講演会論文集
- 4) 粒子態栄養塩の藻類による利用可能性調査、建設省土木研究所他、昭57.2
- 5) 汚泥処理上からみた合理的浄水方法、土木学会、昭55.3

参考資料

- 1) 釜房湖水質汚濁機構調査報告書、建設省釜房ダム管理所他、昭57.3
- 2) 釜房ダム管理月報
- 3) 仙台市水道局水質調査データ
- 4) 漆沢ダム管理月報
- 5) 茂庭浄水場排水処理施設管理月報
- 6) 人造湖（漆沢ダム）の水質汚濁調査中間報告書、宮城県保健環境部昭58.3

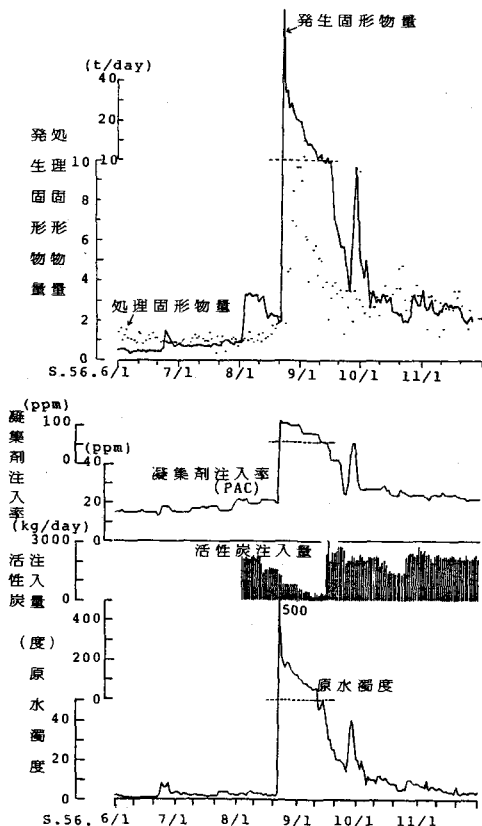


図-11 茂庭浄水場排水処理状況（昭56年）

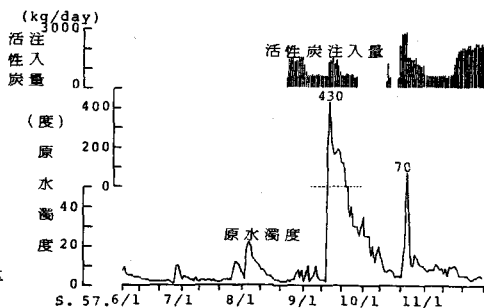


図-12 茂庭浄水場排水処理状況（昭57年）

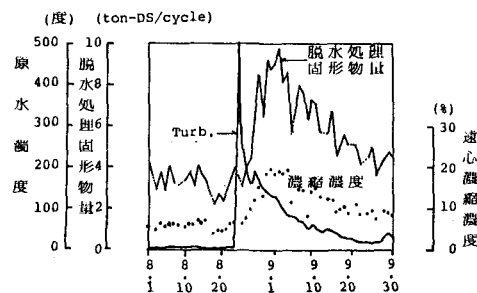


図-13 出水後の濃縮・脱水性の変化（昭56年）