

1. はじめに

如何に清潔な河川であつても、河川をせき止めて人造湖を造ると、そのダム湖の性格によつて、各種の水質変化を生ずることは避けられない。水質変化として挙げられる主なものは、水温変化、濁り、金属溶出、プランクトンの発生である。その軽減対策として、水温は表面取水設備、濁りでは水温成層の形成促進のための選取取水や密度流の放水設備¹⁾、金属溶出、特にマンガンでは、浄水場における対応設備などによつて解決とせらる。しかし、プランクトンの発生は、ダム湖の性格と流入栄養塩類の多寡によるから、これによる障害を防ぐことは困難な場合が多い。

1966年に完成した石川県金沢市にある犀川ダム湖は、幸にして人為汚染が全くない数少ないダム湖である。その水質環境を示すものとして、金沢市が発電取水口前方100mで行つてゐる定点観測の観測値がある。図-1

は、湛水直後の

1971年と昨年の夏、
湖のpH、溶存酸素、
プランクトンの個体数、
および溶出金属を示して
いるが、いづれの年
も夏ではpH、溶存酸素
および溶出金属はほ
ぼ等しい垂直分布を示
しているのに対し、秋
は溶存酸素および溶出
金属に変化がみられる。
この原因の一つにプ
ランクトンがあると考
えられるので、湛水直
後のプランクトンの消
長を追ひ、水質環境を
評価してみる。

2. 犀川ダム湖の概要

犀川ダム湖は、金沢市街地中心部から南東12.4km、2姉河川犀川上流山岳部に位置し、その集水域は白山連峰の一部海抜

1,664mの奈良ヶ岳

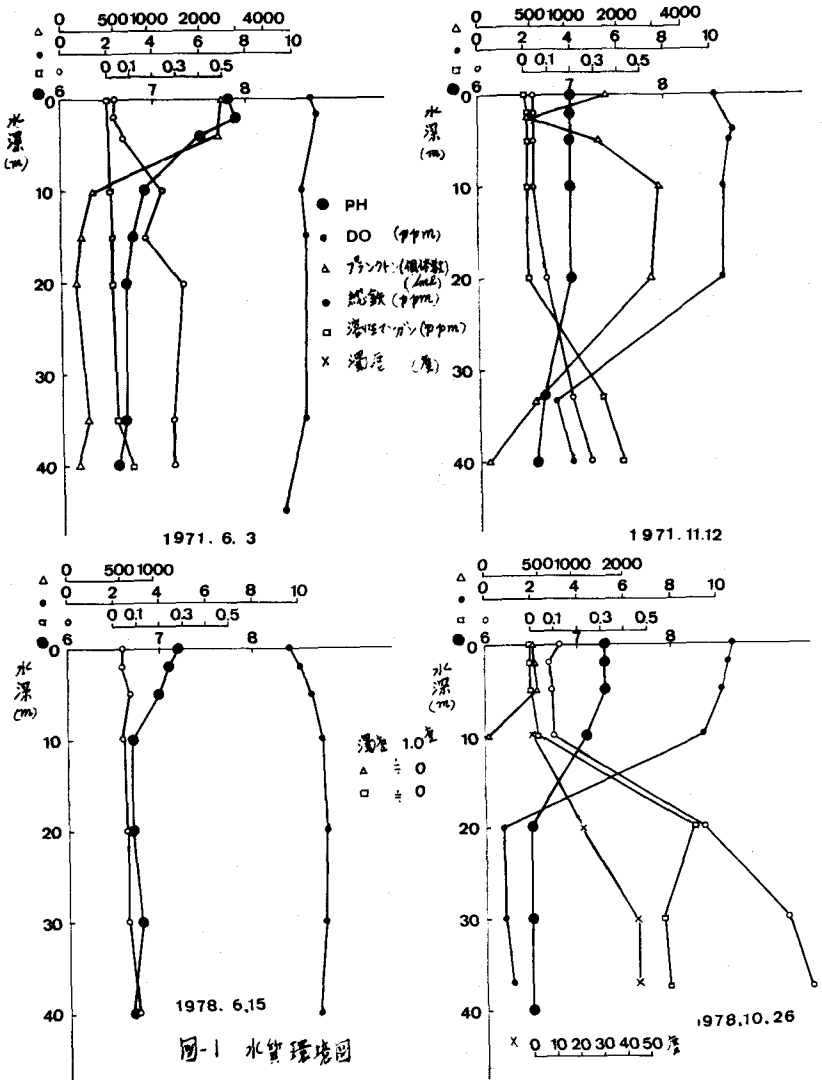


図-1 水質環境図

を最高峰とする平均高度703mにある。
このダム湖は、1960年特に国庫補助事業として、金沢市が築造にあつた。著者は、ほぼ全期間その調査、設計、施工整理の責任者であつた^{2),3)}。

このダム湖の湛水区域には、二又、倉谷両部落があつたが、1965年一部湛水に先立つて、住民はオベエ市街地に移住し、集水域内所有林地を国に売却した。その湛水に際して、水質汚濁の原因となるものは、極力建屋除去した。

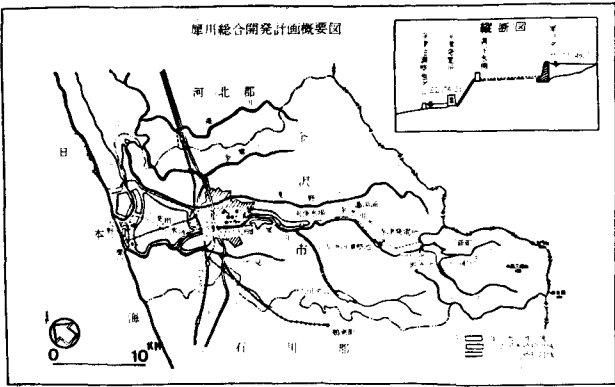


図-2

2.1 ダム湖諸元

表-1に示した。

2.2 集水域の地質

主として、第三紀に属する堅硬な凝灰岩とこれに貫入した安山岩とからなつてゐる。レガレ、一部には、この地方の基盤をなす飛騨片麻岩が露出してゐる。その表土は浅く、山地の崩壊は少ない。

2.3 集水域の植生

植物学上の地域分けでは、暖温帯に近接した冷温帯に属し、主として、落葉広葉樹が分布し、エキツバキ等の常緑樹も点在してゐる。その林相は、湛水前まで続いた製炭のため貧弱であるが、今後の回復は期待されてゐる。

2.4 集水域の気象

年雨量は3,000mm以上で、100年確率日雨量は233mmである。また、この地域は多雪地帯にあり、積雪量調査によると、1959年前後の多雪年、寡雪年の2月未だ、融雪量に換算してほぼ、10,000,000m³、35,000,000m³と観測された。過去の月平均雨量を表-2に示す。

2.5 流入水量

ダム湖への年平均流入水量は、6.83m³/sであり、豊満水の差が大きい。その洪水量は、80年超過確率で470m³/sである。ダム湖流入水量を表-3に示す。

2.6 流入水質

流入水温は、築造前の1960、1961年ダム地点上流2kmの地点で測定した表-4がある²⁾。また、1979年のダム湖への流入河川、二又川、倉谷川の水質は表-5の通りである(金沢市企業局観測)。

表-1 ダム諸元

集水面積	57.8 Km ²
ダム湖の満水位標高	EL.346.50 m
湛水面積	0.59 Km ²
湛水深さ	3.36 m
総貯水量	14,300,000 m ³
有効貯水量	11,250,000 m ³
有効水深	31 m
ダム放水口	EL.330.00 m
発電取水口	表面取水・下部取水

表-2 月平均降雨量と標準偏差(mm) (1965~1998)

月	降水量	標準偏差	月	降水量	標準偏差
1	452	86	7	340	200
2	280	84	8	275	164
3	284	76	9	337	134
4	198	66	10	249	85
5	184	88	11	452	137
6	268	220	12	536	229

表-3 ダム流入水量 (m³/s)

最大	69.39	洪水	1.07
最小	8.49	最小	0.89
平均	4.08		
標準	1.99	平均	6.83

2.7 貯水 放流

このダムは、総合開発事業に基くもの
であるが、その貯水は6月から9月ま
での間、洪水調節のための制限水位のあ
るルールカーブによつて運
用される。融雪期や洪水時
にはダム放流を行うが、平
常時には、貯水はすべて延
長4.5kmの圧カトンネル
で金沢市上寺津発電所に
導上、尖頭負荷に応じ、逆
調整のうえ用水補給を行
っている。

2.8 風向および波高

設計に当たつて、対象
距離2kmとし、波高は
0.92mとされている。
1965年からの観測に
よる風向は、風力3以上の
風ではS-Eが卓越し、
ついでN, NE, NWが
あり、ダム湖周辺の地形
特長と一致している。水
温成層期の風向の半分は
S-E方向で、ダムへの吹
寄せ風にあたる⁴⁾。

2.9 流出水質

1979年における、上寺津発電所放流口での流出水質を表-5に併記した。流入水質にくらべ、濁度、溶性
イオンおよびクロロフィルが、多い。

3. 犀川ダム湖の性格

このダム湖も陸水の形態であるが、水の流れる水理学的および生物学的性質を知る必要がある。
Einsele⁵⁾は、流速によつて水域分けを行つており、流速0.5~1.0mm/sのときよりダム湖とし、プ
ラクトン生息可能な水域で、十分な水深をもつている場合には、夏期に表水層、中水層、深水層の成層を形成する
といっている。

安宅⁶⁾は、年間貯水回転数の指標 α , β によつて、水温構造型の概略を提案している。それでは、

α = 年間総流入量 / 貯水池総容量

β = 一洪水総流入量 / 貯水池総容量

とし、 $\alpha < 1.0$ ならば安定した成層型、 $\alpha > 2.0$ ならば混合型とし、成層型のダム湖でも、 $\beta > 1$ のような大洪
水では、一時的に混合型になつてしまふことがあるが、 $\beta < 0.5$ 程度の洪水は、一般に水温構造に大きな影響

表-4 ダム築造前の河川水温(°C)

年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1960	1.6	2.5	4.2	6.5	7.5	12.4	16.2	17.9	16.2	12.7	9.0	5.6
1961	1.9	0.5	1.3	4.0	8.1	11.8	15.7	18.5	18.6	-	-	-

表-5 流入河川水質および流出水質(1979)

	二又川			名谷川			流 出 水		
	4.26	6.26	11.13	4.26	6.26	11.13	4.26	6.26	11.13
水 温 (°C)	8.1	19.0	8.0	8.6	19.0	8.5	8.4	17.0	10.5
色 度 (度)	3	2	7	2	1	7	5	15	11
濁 度 比色法(度)	1.0	0.2	2.2	0.8	0.1	1.8	1.5	4.2	5.5
pH値	7.1	7.25	6.95	7.1	7.25	6.95	7.1	6.85	7.0
総アルカリ度(ppm)	20.5	35.7	18.8	20.1	30.4	18.3	21.2	21.4	23.8
アンモニア素(ppm)	0.01 未検	0.01 未検	0.01 未検	0.01 未検	0.01 未検	0.01 未検	0.01 未検	0.03	0.01
亜硝酸性窒素および 硝酸性窒素(ppm)	0.13	0.10	0.07	0.16	0.10	0.10	0.17	0.06	0.14
リン酸イオン(ppm)	0.01 未検	0.01 未検	0.01	0.01 未検	0.01 未検	0.02	0.01 未検	0.01 未検	0.02
過マンガン酸カリウム 消費量(ppm)	2.2	1.5	4.7	2.1	1.2	4.6	2.4	2.4	5.7
溶性マンガン(ppm)	0.003	0.074	0.003	0.009	0.055	0.018	0.004	0.036	0.034
溶存酸素(ppm)	11.5	8.12	11.6	11.0	8.15	11.4	11.2	8.15	10.8
導電率($\mu S/cm$)	55	118	63	57	107	66	60	87	82
クロ ロ フ ィ ル (mg/l)	a	1.1	0.79	1.2	0.9	0.45	1.1	3.7	3.1
	b	1.0	0.59	0.65	0.4	0.4	0.48	0.9	0.93
	c	2.8	1.3	1.9	1.1	0.8	1.5	2.3	2.2

を与えないといっている。このダム湖の月間貯水回転数は表-6の通りで、湖高はほぼ160mである。

と、このダム湖では、 $\alpha=16$ 、と存するか、安定した成層型とはいえないが、成層型に属していることがわかる。これは、融雪出水があるためで、3月中旬から5月上旬までは流入量が多いので、成層構造になりにくい。夏季、短期では $\beta<0.5$ である。貯水の成層を一時的に破壊するような出水は、今日まで数回観測されたにすぎないが、水温垂直分布の安定したダム湖といえる。このことは、金沢市の定点観測による図-3でも判る。

表-6 月間貯水回転数(1966~1978)

月	回転数	標準偏差	月	回転数	標準偏差
1	1.96	0.90	7	3.16	1.06
2	2.87	1.12	8	3.21	1.81
3	4.79	2.92	9	3.78	2.09
4	4.68	1.33	10	1.95	0.56
5	3.03	0.90	11	2.19	0.50
6	2.28	0.83	12	2.84	0.89

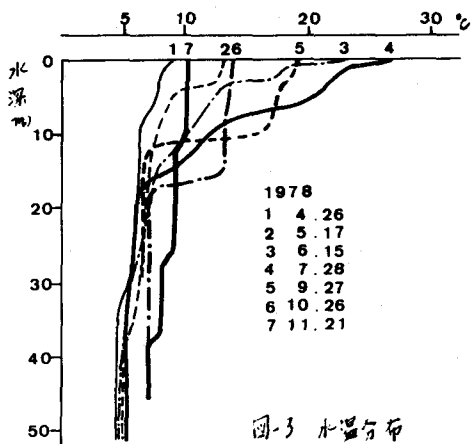
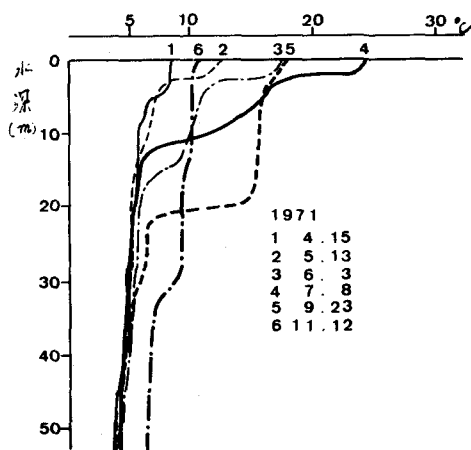


図-3 水温分布



これらから、琴川ダム湖はとまりダム湖に属し、融雪期を除けば、プランクトンの生息可能な水域と性格づけられる。

4. とまりダム湖の水質変化

とまりダム湖では、夏季および冬季には、温帯成層が形成する。特に、夏季には気温や日射量の増加に伴って、顕著な表水層が生じ、その表水層には植物プランクトンが繁殖する。このプランクトンは表層付近では、溶存酸素を増加させるが、世代が交代し遺骸が沈降分解すると、酸素を消費するので、深水層での溶存酸素が減少する。そのため、深水層では化学物質を溶出させる環境作用が行われるので、水質に悪影響をもたらす。

一般に、ダム湖湛水後のプランクトンの動向について上野¹⁾は、湛水後2年まで動物プランクトン、植物プランクトンも4年ほど、その種類の多勢が続き、どちらもその後は徐々に1~2種類ずつ劣化し、必ずしも一定の状態には止まらないといっている。

森下²⁾は、ダム湖の滞留時間と、発生するプランクトンの種類数を図表的に示すが、それによると、流入水の湖内滞留日数が3日以内では、プランクトンが湖内に自生する現象は稀で、5日になると12種類となり、9日では30種類、50日では40種類となるといっている。

また、Sylvesterは、第2回国際水質汚濁会議講演で、環境にめだれたダム湖でも、湛水によって水質劣化した樹木や湛水面下の地層から栄養塩類が急激に湖内に溶出するので、湛水後数年間はプランクトンが増殖すると論じた。そして、その影響は、5~7年ぐらいまで、その後は、至って流入水の栄養塩類に支配されるといった。このような事実は、今日では一般に知られているところである。

植物プランクトンの年間の消長は、光や温度と栄養塩類に支配されることが多い。夏期は、水温成層が発達するので、深水層の水は循環しなくなり、植物プランクトンに乏しく、表水層はしばしば有効底となる。また、流入水の温度によつては、表水層へは栄養塩類の補給が行われなくなり、プランクトンは減少する。

5. 犀川ダム湖のプランクトン

犀川ダムのプランクトンについて、渡辺⁴⁾、神佐¹⁰⁾の諸研究があるが、湛水以来の金沢市の定点観測によるプランクトンの出現の状況をしらべた。これまでに出現した植物プランクトンは、*Asterionella formosa*, *Synedra ulna*, *Tabellaria fenestrata*, *Melosira granulata*, *Attheya zachvatkini*, *Rhizosolenia*, *Navicula*, *Diatoma*, *Cyclotella*, *Cymbella*, *Gomphonema*, *Staurastrum*, *Scenedesmus* である。なお、渡辺⁴⁾は、動水プランクトンとして輪虫4種、枝角類2種、橈脚類1種を報告している。図-4は、年別プランクトン総個体数分布の概要を示したものである。この中で *Asterionella formosa*, *Synedra ulna* は、湛水後2年目の1968年には個体数で優勢種となり、6月には水面付近で、7月、8月には5~7mの深さで最大数が発見され、秋期には再び *Asterionella formosa* が水面付近で最大数となったが、*Synedra ulna* は発見されなかった。そして1971年をピークとして、その後減少傾向をたどり、1972年から著しく減少し、1978年ごろから個体数は少ないが、夏期には *Cyclotella*、秋期には *Melosira* が優勢種となった。図-5は *Asterionella formosa*, *Synedra ulna* の年別発生状況である。

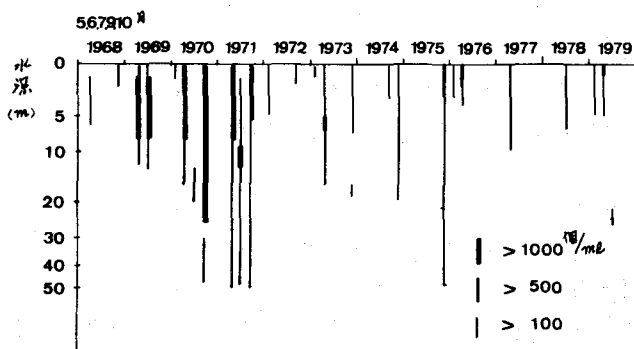


図-4 年別プランクトン総個体数

また、二水らのプランクトンが浄水場に起した障害は、1969年夏 100個/mlの流入によつて浄水場ろ過池持続日数が約6分の1になった事例があっただけである。

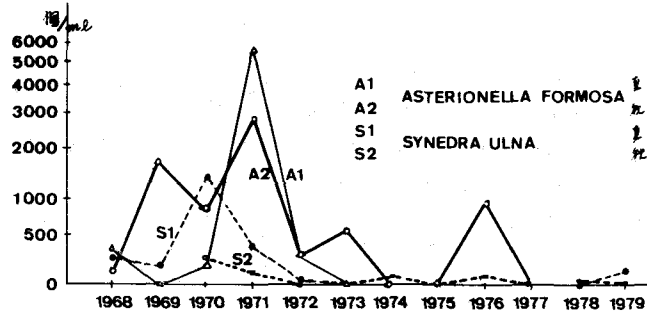


図-5 特定プランクトン発生状況

6. 犀川ダム湖の遷移

湛水直後、プランクトンが大量に発生した期間はあったが、最近著しく減少していると述べた。今後、このダム湖は、自然界からの栄養塩の流入のみでは、どんな遷移をたどるかを調べたい。

植物プランクトンの繁殖には必要の主要元素は、炭素、窒素、リンである。炭素は、水中に溶けている炭酸ガスからとれる。そして、水中の炭酸ガスは、自然界から供給されるから、殆ど不足することはない。それにくらべると、窒素およびリンは、自然界では不足気味である。従つて、二水らの元素が制限要因となることが多い。坂本¹¹⁾によれば、日本の湖沼および河川における主要な栄養塩の含有量(μg/l)は、季節的にかなりの変動はあるが、富栄養湖の窒素は0.02~0.2、リンは0.002~0.2である。

犀川ダム湖のように人為汚染のないところでは、窒素や磷の供給源は流入水である。有機または無機の窒素および磷は、溶存あるいは浮遊物の状態でダム湖に持ち込まれる。そして、この窒素や磷がプランクトンに利用されるのは、硝酸態窒素や溶存磷のような形態のもので、溶存磷は流入全磷の約10%ぐらいである¹²⁾。

よ、森林生態系における無機塩類の動態についての研究は、我が国ではあまり多くないが、森林雨によつて森林に運び込まれるものは、岩坪¹³⁾、西村¹⁴⁾によると、毎年当り窒素は3.5~5.5 kg、磷は0.24~0.63 kg程度で、その森林から流出するものは、窒素がその約3分の1、磷はほぼ等量であるらしい。アメリカでの多くの測定値から概算した数値¹⁵⁾は、森林1haから1日に供給される窒素は1~2 g、磷は0.1~0.05 gである。

これを用いて、このダム湖への塩類流入量を予測してみると、後者は、集水域57.8 km²と平均流量から平均値として、流入水1 m³に含まれる無機窒素は0.02 g、無機磷は0.001 g程度となる。また、前者では1 m³当たりそれぞれ0.1 g、0.01 gとなり多いが、犀川ダムの流入端の測定値と一致する。この測定値の窒素は、硝酸態であるからプランクトンにとつて有効であるが、磷はその10分の1程度しか溶存磷とならないから計算値の流入磷は0.001 gしか有効ではない。いずれにしても、これらの値は、このダム湖が富栄養湖型に推移することを警告する。

もう一つの方法として、吉村¹⁶⁾が用いている透明度、クロロフィルによる手法を用いて検討してみると、1977、1978年石川県が行った測定値で、透明度3 m、水深7 mでのクロロフィル0.6 mg/m³は富栄養湖値である。

7. おわりに

犀川ダム湖は、他のダム湖のように湛水直後には一時的に、富栄養化促進の傾向が認められ、数年後には当初の富栄養湖型に近い状態に retom している。犀川ダム湖は多目的ダムであるから、貯水の補給効果を発揮し、夏期と冬期末に最低水位近まで利用しているから、栄養塩類の累積が起りにくい。人為汚染がないので、せいぜい自然界供給だけでは、富栄養湖型が維持され、若干の年間の変動はあるが上水道水源として良質の水質が保持されるといえる。

この研究に当り、御指導をいただいた金沢大学名誉教授金子陽孝先生に深く感謝し、併せて、資料提供された金沢市企業局に謝意を表す。

参考文献

- 1) 白砂孝文・宮田周一：貯水池の濁水現象とその水理学的軽減対策、発電水力、No. 120 (1973)
- 2) 河川総合開発事業全体計画書、石川県、(1961)
- 3) 河川総合開発実施調査概要、Vol. 1、建設省河川開発課、(1963)
- 4) 犀川ダム管理記録、石川県
- 5) Einsele, W.: Die Strömungsgeschwindigkeit als beherrschender Faktor bei der limnologischen Gestaltung der Gewässer, Österreichs Fischerei, Supplementband 1, Heft 2.
- 6) 宮田周一：貯水池水質の挙動と予測、大ダム、No. 83、(1978)
- 7) 上野春三：陸水学雑誌、Vol. 6、(1952)
- 8) 森下順子：ダム湖の陸水学的研究、湖水の滞留時間とプランクトンの出現とく、日本陸水学会、第40回総論要旨集
- 9) 渡辺忠治・金子陽子・上野春三：人為的汚染から隔離された犀川ダム湖の陸水学的研究、琵琶湖総合研究年報、12、(1972)
- 10) 神坂博：犀川ダム湖の環境要因と動物プランクトンの季節変化、石川県白山保護センター研究報告、第6集、(1980)
- 11) H. Sakamoto: Arch Hydrobiol., II, (1966)
- 12) Keith, S. Porter: Nitrogen and Phosphorus
- 13) 岩坪五郎・堀利夫：森林内外の降水中の養分量について(Ⅱ、Ⅲ)、栄工濃報、34、40、(1967)、(1968)
- 14) 西村武二：山地小流域における養分物質の動態、日林誌、55、11 (1973)
- 15) 信州大学教育学部自然保護講座：自然保護と森林、共出版、(1973)
- 16) 吉村信吉：湖沼学、生態学、(1976)