



Title	新設貯水池の水質環境の変遷
Author(s)	余湖, 典昭
Description	第2回衛生工学シンポジウム (平成6年11月10日 (木) -11日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 6 計画、展望 . 6-1
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 2, 225-230
Issue Date	1994-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7617">https://hdl.handle.net/2115/7617</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	2-6-1_p225-230.pdf



## 新設貯水池の水質環境の変遷

余湖 典昭 (北海学園大学・工学部)

### 1. はじめに

ダム建設による貯水池の誕生は、新たな生態系の誕生としてとらえることが出来る。建設に際しては、環境アセスメント等により水質を含めた事前の環境影響評価などが行われるが、竣工後の予測結果の検証は積極的に行われていないことが多い。また、新たに出現した貯水池生態系が定常状態に至るまでに必要な時間、過程などについても報告例は限られている。

著者は、1989年から湛水を開始した定山溪ダム(さっぽろ湖)を対象として、工事期間中から湛水後まで約10年間調査を継続してきた。本論文ではその結果を元に、完成前の水質予測と、湛水後の水質環境の変化について報告する。

### 2. 定山溪ダムの概要

定山溪ダムは図1に示すように、札幌市南区定山溪に位置する。近傍の豊平峡ダム(1972年完成)と同様に洪水調節、上水道、発電を目的とした多目的ダムであり、2つのダムで豊平川水系の水資源の有効利用を図っている。定山溪ダムの主たる流入河川は小樽内川であるが、流域はほとんどが国有林であり、ダムサイト付近は一部支笏・洞爺国立公園の特別地域に指定されている。唯一人為的な施設としては、スキー場が小樽内川上流にあるが、その排水管理は厳重に行われており、貯水池への汚濁流入負荷は自然由来と考えると良い。ダム、貯水池の諸元を表1にまとめた。

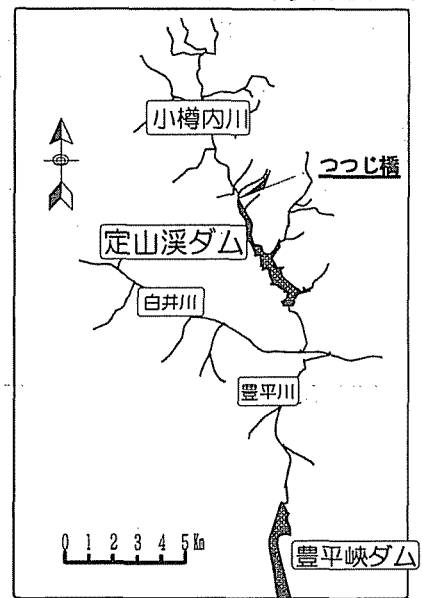


図1 調査地域の概要

### 3. 調査方法・内容

定山溪ダムは1978年に建設が開始されたが、この以前1975年から3年間に渡り環境調査が実施された。その後、堤体コンクリートの打設が本格的に始まった1984年から、工事の進捗に伴う環境影響に関する調査が水質・植性・生物など広い分野について開始された。またこの調査は、湛水が開始された1989年からは、「湛水開始後の環境調査」を目的として、同様の分野の調査が継続され現在に至っている。なお主たる調査地点は、流入河川を代表する点としては「つつじ橋」、またさっぽろ湖については、ダムサイト、湖心の2ヶ所である。

この間の一連の調査結果の中から本論文では、湛水以前の流入負荷量の検討と水質予測、及び湛水後の水質変化と予測の検証について主に記すこととする。

表1 定山溪ダム・貯水池諸元

ダム:	型式; 重力式コンクリートダム 堤高; 117.5m
貯水池:	流域面積; 104km <sup>2</sup> 湛水面積; 2.3km <sup>2</sup> 有効貯水容量; 78,600,000m <sup>3</sup>
放流設備:	洪水吐き; コンジットゲート 1門 クレストゲート 2門 利水放流; 選択取水設備 (最大10m <sup>3</sup> /s)

#### 4. 汚濁成分の流入負荷量について

貯水池湛水後の水質を予測するためには、汚濁物質の流入負荷を知る必要がある。

水質調査結果から、汚濁成分の流出量 (L) と流量 (Q) の関係を最小自乗法により、いわゆる L-Q 式で表わした。さらにその関係式を用いて、流量連続記録から汚濁負荷量を算定した。

図 2 に示したように両者の関係は、融雪期 (4~6月) とそれ以外の時期

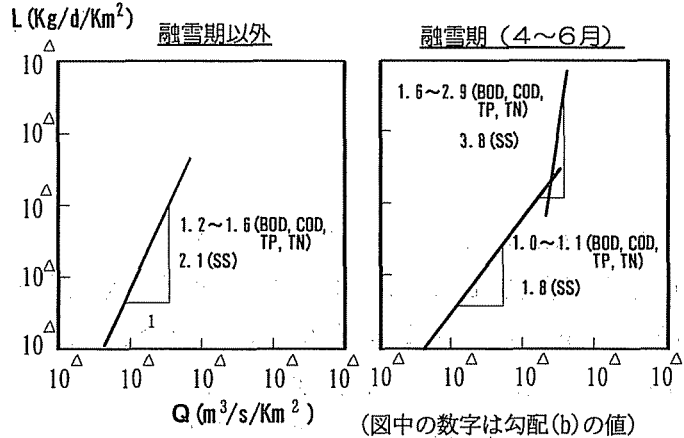


図 2 負荷量 (L) と流量 (Q) の関係 ( $L=aQ^b$ )

では流出形態が異なることが明らかとなり、また融雪期については一定の流量を境界として 2 本の式で表わすことが必要であった。図中に示したように、直線の勾配は融雪期の高流量領域で最も大きく、ついで融雪期以外、融雪期低流量領域の順となる。

1980年~1986年の流量データを用いて、定山溪ダム完成時の流入負荷量を推定した結果をまとめると表 2 の様になる。表には、融雪期負荷量の占める割合、年平均水質も示してある。成分中 SS の負荷量の変動が大きく、また融雪期の割合が 80% 以上に達するのは b の値が大きい

表 2 定山溪ダム年間流入負荷量計算値

	Q (*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	SS ton	COD ton	BOD ton	TN ton	TP ton
1980年	148	1160	378	36	27	2.0
1981年	232	5860	1150	106	52	5.6
1982年	207	2370	634	57	42	3.5
1983年	140	462	312	34	23	1.4
1984年	156	749	360	36	27	1.7
1985年	194	1720	608	40	38	3.1
1986年	207	3630	794	69	47	4.4
平均負荷量	183	2274	605	57	37	3.1
融雪期負荷量の割合	64%	81%	66%	59%	69%	67%
平均流量・水質	5.80 m <sup>3</sup> /s	12.4 mg/l	3.3 mg/l	0.31mg/l	0.202mg/l	0.0169mg/l

めである。その他の成分については、変動幅は SS より小さく、融雪期負荷量の割合も水量と大差無い値となっている。これは融雪期以外と融雪期の低流量時では、b は大きくても 1.6 程度であり、負荷量の増加は流量の増加によるところが大きいことが原因である。融雪期の高流量時には b が大きく濃度上昇を伴う負荷量の増加が起こる。したがって、定山溪ダム流入河川の水質の特徴として、TN、TP 濃度の上昇は主に融雪期の高流量時に見られることが上げられる。

#### 5. 定山溪ダムの水質予測

前節の解析結果を利用して、湛水後の水質を次の 2 つの方法で予測を行った。

##### ①安芸らの方法<sup>1)</sup>

安芸らは、日本の貯水池 60ヶ所について水質データを整理し図 3 を得た。図中の水質評価は表 3 と対応している。図中には、定山溪ダムと豊平峡ダムもプロットしてある。両ダムは比較的近い位置にプロットされ、水質分類としても a~b となることが予測された。

②OECD の方法<sup>2)</sup>

浅い湖沼と貯水池のリン濃度を、貯水池流入水の年間平均濃度から予測する方法としてVollenweiderの式を修正して下記の2式が提案されている。

$$P_{\lambda} = P_i \cdot \frac{1}{1 + 2.271\tau^{0.586}} \quad (1)$$

$$P_{\lambda} = P_i \cdot \frac{1}{1 + \frac{7.239}{Z^{0.5}}\tau^{0.608}} \quad (2)$$

$P_{\lambda}$ ; 湖水中年平均全リン濃度 (mg/l)  
 $P_i$ ; 流入水中年平均全リン濃度 (mg/l)  
 $\tau$ ; 滞留時間(年)  
 $Z$ ; 平均水深 (m)

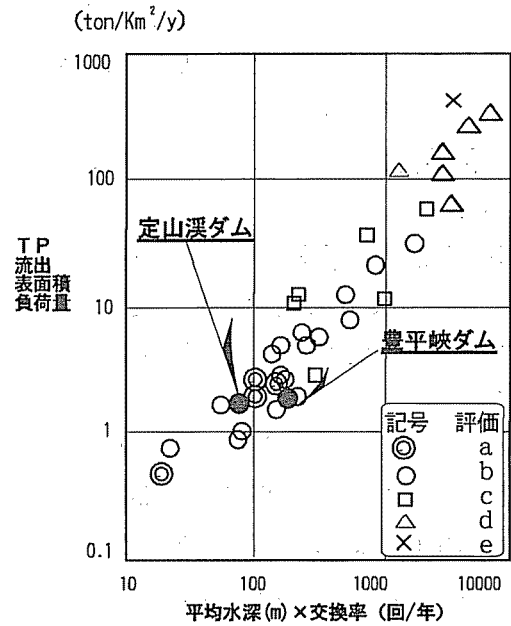


図3 TP流出面積負荷量と平均水深×交換率の関係<sup>2)</sup>

表2から求めた流入水平均水質を用いて定山溪ダムの全リン濃度を計算すると表4の様になる。表には比較のため豊平峡ダムの結果についても合わせて示した。

以上の結果から、定山溪ダム湛水後の水質は、近傍に位置する豊平峡ダムとほぼ同レベルの貧栄養～中栄養の状態となることが予測された。

6. 湛水後の定山溪ダムの水質環境の変遷

定山溪ダムは、1989年3月から1990年9月まで試験湛水が実施された後、本格的な供用が開始され現在に至っている。ここでは1993年迄の調査結果をもとに、湛水後5年間に渡る貯水池水質の変遷について述べるが、主に注目した事項は以下の点である。

- ① 湛水直後の水質変化
- ② 湛水後5年間の水質環境の変遷と予測の検証

湛水によって水没した植物が分解し栄養塩類を供給するため、湛水初期に貯水池の水質が予想以上に悪化する場合がある。定山溪ダムではこのような事態を避けるため、水没する地域の直径10cm以上の樹木を総て伐採し、貯水池外へ搬出する措置が講じられた。しかし1989年8月、10月には、底層部20m程度が嫌気化し、 $Fe^{2+}$ 、 $Mn^{2+}$ 、 $PO_4^{3-}-P$ 、 $NH_4^+-N$ 等の若干の上昇が見られた。樹木の伐採が行われたとはいえ、土壌や植物残さなどの分解が進みDO消費が活発化したことが原因と思われる。

表3 貯水池水質の5段階評価基準<sup>2)</sup>

評 価	TSI	全リン mg/l	透明度	他の分類との関係			
				津田	坂本	Vollenweider	環境庁
a	≤37	≤0.01	≥4.9	貧栄養	貧栄養	極貧栄養	I
						貧-中栄養	II
b	≤47	≤0.02	≥2.5	貧栄養	中栄養	中栄養	III
c	≤53	≤0.03	≥1.6				IV
d	≤61	≤0.05	≥0.9	富栄養	富栄養	中-富栄養	V
e	≥61	≥0.05	≤0.9			富栄養	

表4 湖水中年平均全リン濃度予測値

	定山溪ダム	豊平峡ダム
(1) 式	0.0071mg/l	0.0069mg/l
(2) 式	0.0097mg/l	0.0082mg/l

翌1990年から1993年までは、春～秋の調査では底層部の嫌気化は観測されていない。図4にDOの分布の一例を示したが、底層部のDOは春～秋に向けて次第に減少するが好气的条件は維持されている。そして翌年の融雪洪水の流入により中、底層部に酸素が再供給され、秋に向けて徐々に減少するサイクルが継続している。

表5にTN, TPの平均濃度の変化をまとめた。1989年を最大値として1991年にかけて減少し、その後3年間はほぼ一定値となっている。TP濃度は、先に述べた予測値と近いレベルと判断される。

図5に、0～30m層のクロロフィル-a濃度の経年変化を示した。TP, TNとは違い、湛水2年目の1990年8月に比較的高い濃度が検出されている。1989年のプランクトンには付着性の種が河川水とともに流入し、貯水池内で繁殖したものが含まれており、(表6)、真の浮遊性のプランクトンの発生は1990年以降である。従って植物プランクトンの実質的な湛水初年度は1年遅れの1990年と考えて良い。先に述べたように、TP, TNの濃度がやや高い状況にあったことから、それがプランクトンの増殖を促した一因と考えられる。管理方法も1990年は他の年と違い表面取水が行われており、また試験湛水のため6月から1ヶ月半放流が停止された。このため、流入水の停滞、水温躍層の上昇などが生じ、このような管理方法の違いがプランクトンの増殖に関係している可能性も否定できない(この点については後述する)。1991年以降は若干の幅はあるもののほぼ一定レベルで推移しており、TP, TNと同様、貧栄養状態で安定していると考えられる。

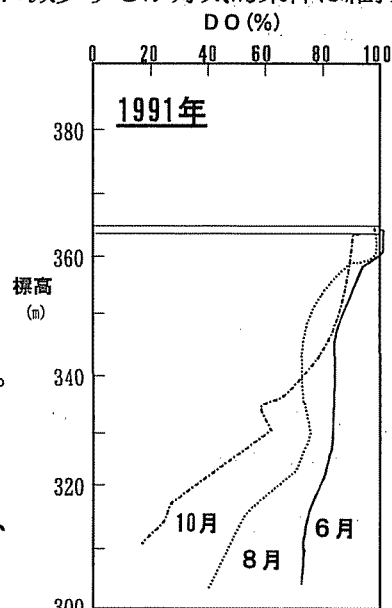


図4 DO (%)分布の季節変化

表5 TN, TP平均濃度の変化

	1989年	1990年	1991年	1992年	1993年
TN (mg/l)	0.286	0.238	0.170	0.186	0.182
TP (mg/l)	0.012	0.010	<0.010	<0.010	<0.010
試料数	29	56	34	45	43

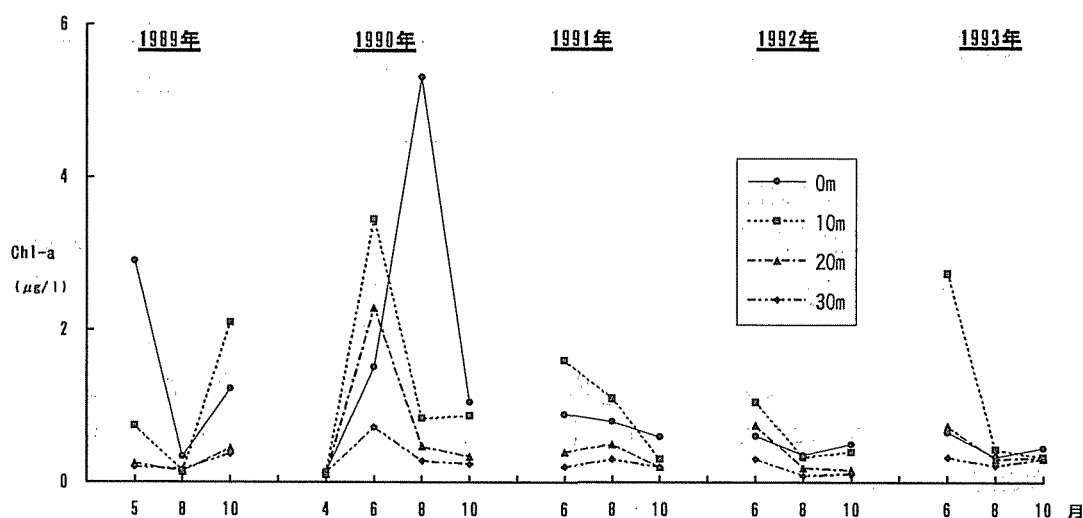


図5 Chlorophyll-aの経年変化

以上の化学的な水質調査結果から、湛水直後の2年間は水質の悪化が見られたが、その後安定化し、最近3年間は予測値に近い水質レベルが維持されていると判断される。

表6に、植物プランクトンの出現種・個体数の変化を示した。水質環境のもう一つの指標である水中の動植物プランクトンの出現種・個体数は、1993年までの調査結果では、未だに安定な状態に至っていないが、出現種から見ると水質環境は貧～中栄養の環境が維持されていると考えられる。6月に珪藻類、8、10月には緑藻類が優占となるパターンが繰り返されているが、種は毎年変化している。豊平峡ダムでは毎年一定の遷移が繰り返されており、定山溪ダムにおいても、流域環境の急変は考えにくいためいずれは落ち着くものと予想されるが、更に時間が必要である。

表6 植物プランクトンの出現種・個体数の変化 <sup>3)</sup> (×10000 cells/l)

	年月	1989			1990			1991			1992			1993		
		5	8	10	6	8	10	6	8	10	6	8	10	6	8	10
渦鞭毛藻類 <i>Peridinium willei</i>	浮											0.3				
黄金色鞭毛藻類 <i>Dinobryon divergens</i>	浮		49	3	0.1			33			10			5	4	
褐色鞭毛藻類 <i>Cryptomonas sp.</i>	浮														11	
珪藻類 <i>Diatoma tenue var. elongatum</i>	浮	33									16				1.5	
珪藻類 <i>Fragilaria vauvheriae</i>	付	14														
珪藻類 <i>Tabellaria fenestrata</i>	浮		0.3	1.8		0.9	0.6			0.3						
珪藻類 <i>Asterionella formosa</i>	浮				19	4.1		2.7			2.8				6.8	
珪藻類 <i>Cyclotella sp.</i>	浮							2.1								
緑藻類 <i>Elakatothrix gelatenosa</i>	浮				6.8											
緑藻類 <i>Eudorina elegans</i>	浮		0.7		2.3											
緑藻類 <i>Volvox globator</i>	浮							60	48	41		33				
緑藻類 <i>Thorakochloris nygaardii</i>	浮					640	16		8.6			7.8	0.5		4.7	1.7

## 7. 貯水池管理と水質環境

定山溪ダムの平常時の取水には選択取水塔が利用されている。先に触れたように湛水後5年間で1990年は唯一表面取水が行われた年であり、その結果図6に示したように水温・DO等の鉛直分布は他の年と違う状況となった。1990年は湛水2年目のため栄養塩濃度も高く、その年検出された比較的高いクロロフィル a 濃度の原因とは断定できないが、取水水位が水温分布、水の滞留時間などに大きな影響を与えることは明らかである。したがって、定山溪ダムの水質環境は定常状態に向かいつつあるが、その環境は1991年以来から継続されている中層取水の条件下で形成されたものであり、取水方法が変われば水質環境も変化するものと思われる。

選択取水設備は濁水対策を目的としているが、以上の結果からも平常時の取水位置が貯水池水質に大きな影響を与えることは明らかである。この点について若干の考察を加える。

図7は鉛直1次元モデルを用いて計算した河川水の流入による流速分布範囲を示したものである(1993年のデータ使用)。貯水池の水温分布は、氷が解ける4月下旬まで0から4℃の範

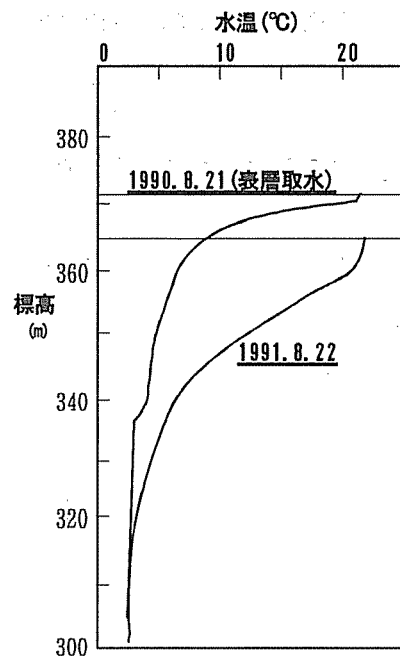


図6 取水方法の水温分布への影響

囲にあり密度勾配は小さい。この時期に融雪洪水が始まるが、河川水温も同程度であり、流入水深、幅ともに大きく変動する。解氷が終わると貯水池の表面水温が徐々に上昇し、躍層の発達とともに幅は狭くなり、流入水深も表層部で安定となる。この状態は水温躍層が消滅し循環期に入る9月上旬まで続き、その後再び水深は低下して行く。この結果は中層取水（EL338m）の場合であるが、表層取水を行った場合も基本的には大きな違いは無い。ただし躍層位置が上昇するため7、8月の流入水深はより表層に近い位置となり、躍層の破壊も遅れるため低下時期も遅れることになる。このような流入形態のもとで、表層あるいは中層取水を行った場合の影響をまとめると以下ようになる。

①表層取水；流入水は貯水池の表面を流れそのまま放流され、中層部の水の交換は行われない。したがって、生物活動が活発な表層部に栄養塩が連続的に供給されるが、同時に生物の系外への排出も期待でき、躍層位置が浅いため生産層水深を小さく抑えることが出来る。

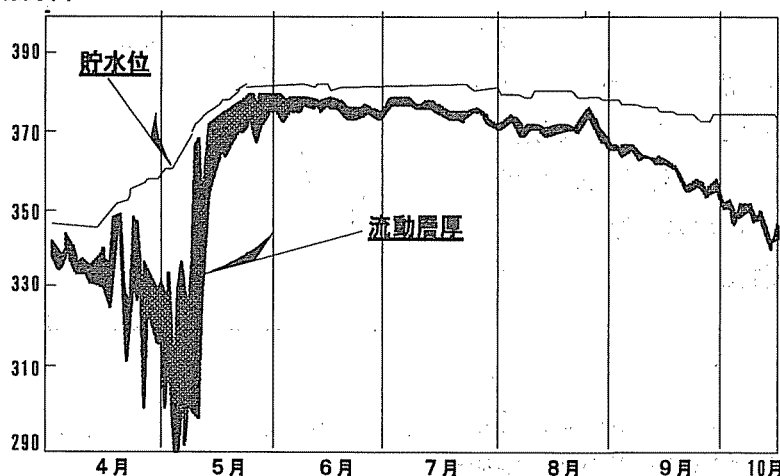
②中層取水；中層取水により下向きの鉛直流速が生ずるため、流入水の影響は中層部にも及び取水水位以浅の水の交換が行われる。流入水の滞留時間は表面取水より長くなるが、有光層以深に移動した栄養塩類は植物プランクトンに利用されない。

高田<sup>4)</sup>は表層取水による*Peridinium*淡水赤潮の抑制効果を報告している。これは、赤潮の系外への排出と生産層厚さの減少効果を利用した例と言える。しかし、取水方法の影響は貯水池の水質レベル・管理方法などによって異なるものと考えられ、定山溪ダムのように清浄な水質環境では、栄養塩類の効率的な利用を促す可能性も考えられる。

また積雪地域のダムの貯水は融雪洪水に大きく依存する。定山溪ダムの場合も、4～6月の河川総流量は有効貯水量を上回る量であり（表1，2参照）、貯水と同時に大量の取水も行われる。融雪洪水は水質の悪化を伴うため、選択取水を利用して汚濁した水塊を放流する管理方法も考えられる。図7に示したように、定山溪ダムでは、融雪洪水期に貯水池と河川水の密度差が小さいため、流入水深の変動が大きく融雪期の選択取水は容易ではないが、ダムの立地条件によっては検討に値する管理方法と考えられる。

謝辞；本研究の実施に際し北海道開発局石狩川開発建設部、(財)北海道開発協会の協力を得た。ここに記して謝意を表します。また調査・実験に携わった本学卒業生諸君の協力に深謝します。

標高 (m)



参考文献

- 1) 安芸ほか (1982)；貯水池水質の調査と解析、電力中央研究所総合報告 No. 302
- 2) OECD Cooperative Programme for Inland Waters (Eutrophication Control) (1979)；Final Report of the Project on "Shallow Lakes and Reservoirs"
- 3) 石狩川開発建設部；平成元年度～平成5年度 定山溪ダム環境調査報告書
- 4) 高田利彦(1986)；選択取水によるプランクトンの発生制御について、ダム技術、4、35-41

図7 河川水の流入による流動層厚と位置の変化(1993年計算値)