



Title	北海道のダム貯水池水質環境と取水管理に関する一考察
Author(s)	余湖, 典昭
Description	第6回衛生工学シンポジウム (平成10年11月5日 (木) -6日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 3 計画・システム . 3-7
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 6, 107-112
Issue Date	1998-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7331
Type	departmental bulletin paper
File Information	6-3-7_p107-112.pdf



3-7 北海道のダム貯水池水質環境と取水管理に関する一考察

北海学園大学工学部
余湖典昭

1. はじめに

北海道のダムは、春の融雪洪水にその貯水量の多くを依存している。融雪洪水は、4月から6月頃に、毎年確実に発生するものであり、冬季間に貯留した「雪ダム」からの放流と考えることが出来る。その量は、通常年間水量の半分以上を占め、また汚濁物質の負荷量も大きく、融雪洪水が貯水池の水理、水質環境に与える影響は無視できない。

貯水池を「融雪依存型」と「梅雨依存型」とに分けると、流入の季節、流入水質等が異なるため、水質環境の支配要因は同列には考えにくい。したがって北海道の貯水池水質環境の解析、予測を行う場合には、融雪洪水の影響をより明確にし独自の方法を開発する必要がある。

著者はこれまでに、北海道札幌市郊外にある定山溪ダムを対象に研究を行ってきた^{1~7)}。前述の視点から、本論文ではこれまでの結果をもとに、北海道の貯水池水質環境の支配要因を、主に融雪洪水に着目して論じ、あわせて融雪期以後の取水管理に関しても考察を加えることとする。

2. 調査対象水域の概要

定山溪ダム(さっぽろ湖)は、札幌市南区にある洪水調節、上水道および発電を目的とした多目的ダムである。主たる流入河川は、小樽内川であるが、流域の一部は支笏・洞爺国立公園に指定されており、上流部には人為的な汚濁源はない。1989年に試験湛水が開始され、1991年度から供用開始された。湛水直後の二年間は、水質が若干悪化したが1991年以降はほぼ定常状態に達し、貧栄養状態が維持されている。^{1, 2, 4)}

3. 融雪期の河川流量と水質

はじめに流入河川の流量について述べる。春季の融雪洪水の出水パターンは、冬季間の積雪量や天候条件により異なるが、道内河川の融雪期はほぼ3か月間に渡る。図1には4月から10月のさっぽろ湖への流入水量の変化を示した(1996年)。5月上旬をピークに、前後3か月近い期間増水が継続する。図1には、放流量、貯水位の変化をあわせて示してある。貯水位は、4月上旬に最低値となるが、融雪期前半の河川水を貯水し、約1か月で常時満水位に到達する。この間の水位上昇は約30m以上に達し、貯水量としては約2.5倍に増加する。

表1に、過去の融雪期の流入量、放流量、貯留量(=流入量-放流量)および各々の年間値に占

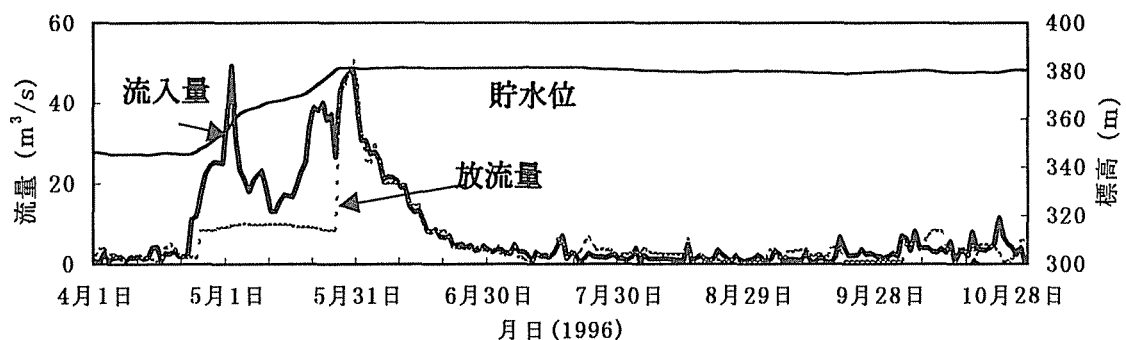


図1 流入量・放流量および貯水位の変化(1996年)

める割合を示した。年間流入水量の50%以上が融雪期に集中し、その量はさっぽろ湖の総貯水量(82,300,000m³)を上回る。また放流量が貯留量を上回る年も見られる。期間別の回転率(=流入水量/総貯水量)を図2に示した。さっぽろ湖の年間の回転率は平均2.0弱であるが、融雪期の回転率は1.2程度となっている。以上のことから、融雪期には貯水池の水位が上昇し、貯水量が増加するが、同時に大量の水が貯水池内を通過し放流されるため、融雪期には大きな水の交換が行われることがわかる。

水量と同様に、汚濁負荷量も融雪期に年間値の半分以上が集中する²⁾。平均濃度で見ると、表2に示したように融雪期のSSは平常時の二倍以上に達する。しかしTN、TP、CODなどの上昇は僅かであり、顕著な悪化は見られない。これは、さっぽろ湖流域内に人為的な汚染源がないためと考えられる。一方、溶解成分濃度(伝導度)は融雪水の希釈効果により、融雪期には低下することが特徴として上げられる。また、図3には流入気温と河川水温の関係を月別に示した(日平均)。この図から、4月から6月の融雪期には雪の融解熱が奪われるため、気温に比較して水温上昇が抑えられることがわかる。データは省略するが、融雪による増水時には水温低下が大きくなる。したがって、融雪洪水によって、貯水池内には低水温、低溶解成分濃度の河川水が大量に流入し、水質環境も一変することが推測される。

表1 融雪期の流入量・放流量・貯留量と年間値に占める割合(さっぽろ湖)

	流入量(m ³)	放流量(m ³)	貯留量(m ³)	流入量(%)	取水量(%)
1991年	98,025,120	76,584,096	21,441,024	68.0	53.3
1992年	84,715,200	38,193,120	46,522,080	51.6	25.2
1993年	93,299,040	45,699,552	47,599,488	69.7	33.9
1994年	122,304,384	75,344,256	46,960,128	71.8	43.0
1995年	100,535,904	54,593,568	45,942,336	57.8	32.3
平均	99,775,930	58,082,918	41,693,011	63.8	37.5

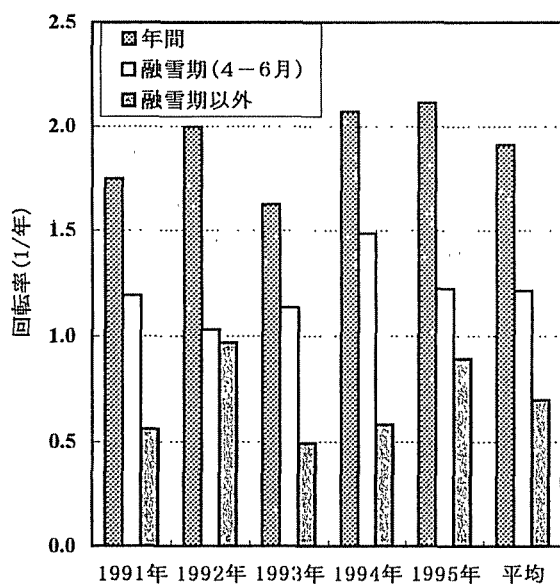


図2 さっぽろ湖の回転率

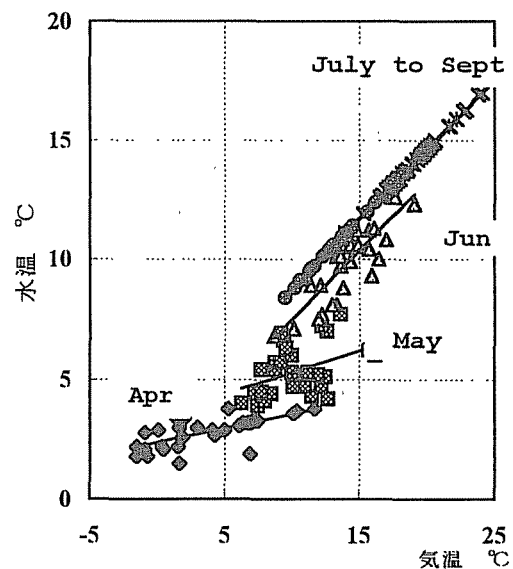


図3 流入河川水の気温と水温の関係

表2 さっぽろ湖流入水の平均水質(mg/l)

	SS	COD	BOD	TN	TP
年間	12.43	3.31	0.31	0.20	0.017
融雪期以外	6.56	3.12	0.35	0.17	0.016
融雪期(4-6月)	15.73	3.41	0.29	0.22	0.018

4. 河川水の貯水池への流入形態

貯水池内の水の流動をマクロに見ると、流入と放流により生ずる水平流と、流入、放流および貯水位の変動による鉛直流、の二つに支配されると考えることが出来る。詳細な議論は後述するが、ここでは貯水池へのインプットである河川水の流入形態について検討する。図4は鉛直一次元の水温モデルを用いて、河川水の流入位置を計算した結果である(1996年のデータ使用)。融雪期と秋季に流入水深は深くなるが、他の期間は主に表層付近へ流入することがわかる。融雪期に侵入水深が大きく変動するのは、前節で述べたように、河川水温が融雪のため上昇しないことが関連している。すなわち、融雪ピーク時の河川水温は4~5℃程度の範囲にあり、貯水池の水温分布も表層を除いて同程度の値で、鉛直方向の密度差が小さい。さらに流入水量も大きいいため、流入により生じる流速分布の範囲も広くなり、中・底層部まで広範囲に河川水が流入することが出来る。一方、秋季については、水温躍層の破壊と河川水温の低下により融雪期と同様の条件となるため流入水深が低下する。しかし、融雪期に比較して水量が小さく、その影響は融雪期に比較して小さいと考えられる。また、冬季間のさっぽろ湖では温度差が4℃の生列成層が形成され、鉛直方向の密度差は夏季に比較して小さい。しかし例年12月下旬から4月中旬まで結氷するため、吸送流の影響は無視できる。したがって、水位は低下するが底層部までの河川水の流入は考えにくい。

図5は底層水(底泥上約4m)の溶存酸素の変化をまとめたものである。溶存酸素は、春から秋にかけて減少するが、翌年6月には回復する変化を毎年繰り返している。図4から推定して、底層水の溶存酸素回復に貢献しているのは融雪水の流入と考えられ、底層部の好気状態の維持に寄与していると考えられる。

以上のように、中・底層部への水の流入は主に融雪期に起こり、さっぽろ湖の水の交換が行われる。またこの現象が清浄な水環境の維持に重要な役割を果たしているものと推定された。

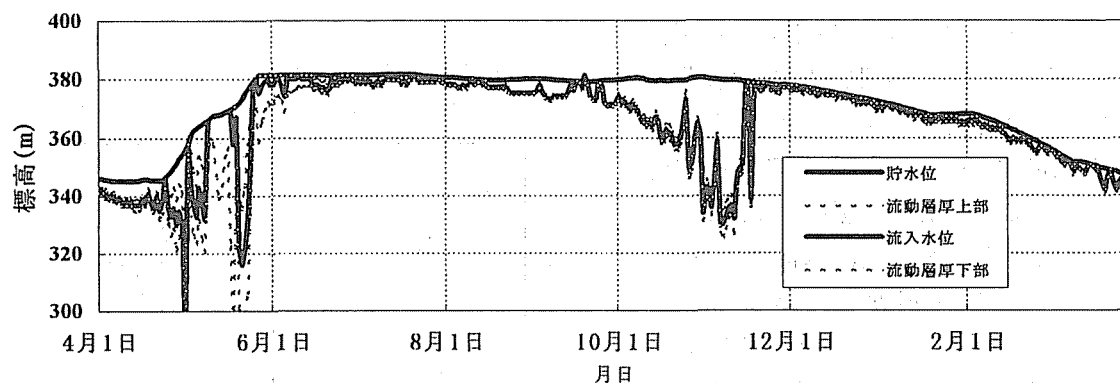


図4 河川水の侵入水深の変化(1996年度)

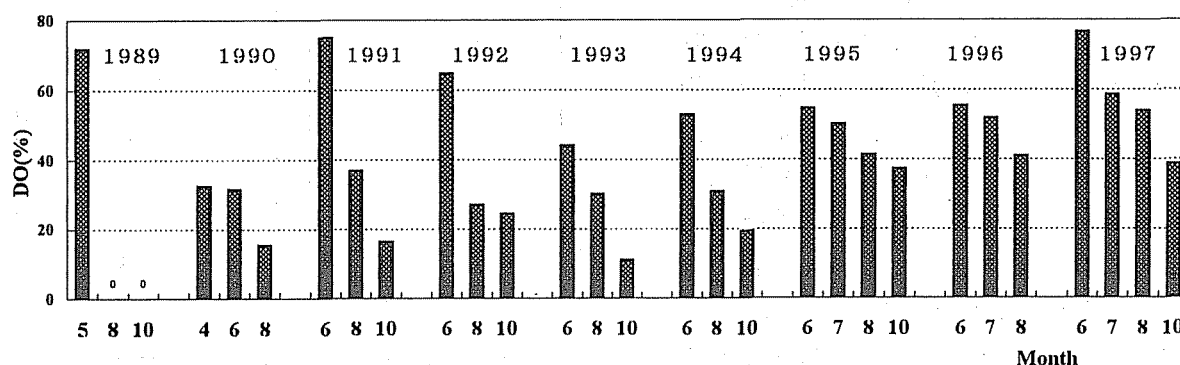


図5 さっぽろ湖底層水の溶存酸素(%)の変化

5. 融雪期以降の取水水位の影響^{3, 5, 6)}

定山溪ダムでは通常時の取水には選択取水施設が利用されている(max 10m³/s)。過去の実績を見ても、放流量の大きなコンジットゲートは、融雪期あるいは夏期の洪水時に一定期間利用されるに過ぎない。供用開始後 1994 年までは水位 338.1m での中層取水が行われてきたが、1995 年以降、融雪終了後の 7 月から 11 月まで水深約2mの表層取水が実施された。この間の調査結果をもとに、融雪終了後取水水位の管理方法の影響について述べる。

表層取水と中・底層取水の場合の、水の流動形態を比較して示すと図6のようになる。すなわち、取水水深が深くなると、取水口に向かって下向きの鉛直流が発生する。先に述べたように、融雪終了後から初秋まで河川水は貯水池表層に流入するので、この間の取水口の水深は水の交換に強く影響する。また中層取水では表層部の暖かい水が水深方向に移動するため、夏の水温分布は図中に示したように、表層取水に比較すると緩やかとなる。

図7に中層取水と表層取水の場合の電気伝導度分布を比較して示した。この図から、表層取水を実施すると水の交換は表層部に限られ、中・底層部では融雪直後の状態が長期間継続することがわかる。したがって融雪終了後、融雪水を積極的に取水し水の交換を促すのが中層取水、逆に融雪水を封じ込め表層部のみの水の交換にとどめるのが表層取水、と考えることが出来る。

図 8 に示したように、1994 年まで行われた中層取水では、下流河川の水温低下が顕著であり、8 月でも 10℃以下の水温が継続した。その結果、低水温を好む付着藻類(カワヒビミドロ、緑藻類)の異常繁殖、あるいは水生昆虫(トビケラ類)の生活史の遅延など、顕著な生態系への影響が見られた。しかし表層取水に変更後は水温が上昇し、自然条件に近い水温変化に戻ったため、下流河川環境へのインパクトは軽減された。また中・底層水の停滞による嫌気化も懸念されたが、むしろ表層取水により 1995 年以降、底層水のDOが増加する傾向が見られる(前出図5)。これは、外来性有機物や貯水池内で増殖した藻類の排出効果の影響と考えられる。このように、さっぽろ湖では表層取水に変更したことによる不都合は観察されておらず、むしろそのメリットが強調された結果となっている。したがって、現在の取水管理(7 月から 11 月まで水深約2mの表層取水)が、さっぽろ湖の最適な管理方法と評価している。

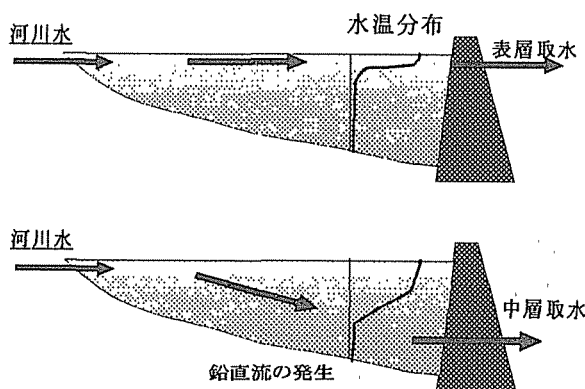


図6 表層取水と中層取水の水の動き

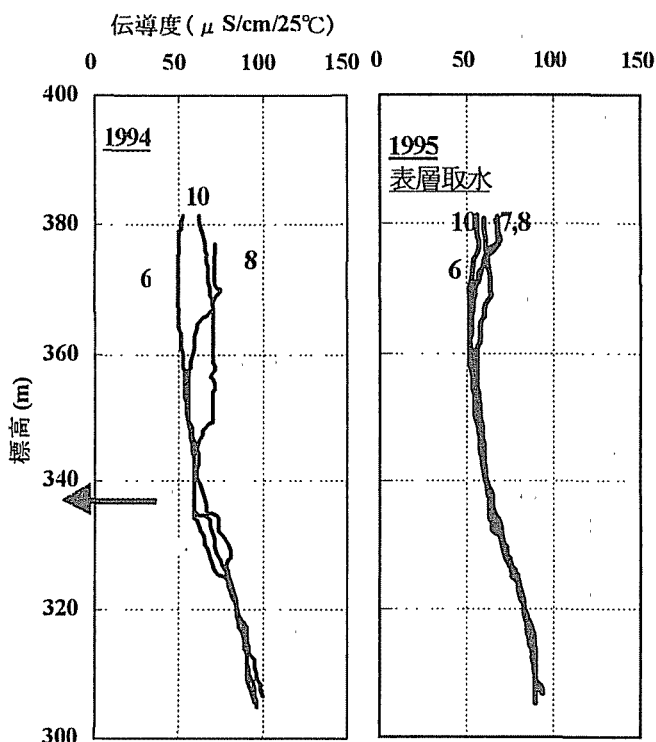


図7 電気伝導度の鉛直分布(1994, 1995 年)

表3に示したように、中・底層取水と表層取水にはそれぞれ長短がある。これまで報告されている事例^{8,9)}を見ても貯水池を取り巻く様々な条件により望ましい管理方法は異なる。また農業用水として利用される場合には、放流水の水温が低下するため、中・底層取水には現実的な制約が伴う。さっぽろ湖の場合は、融雪期の流入河川水質が清浄なため、融雪水が中底層部に停滞する表層取水でも水質悪化は起こらなかったが、融雪水の水質が悪化する貯水池では中・底層取水がベターなケースもあり得るものと考えられる。

選択取水施設の当初の設置目的は、夏～秋の集中豪雨時の水質対策施設として位置づけられている。しかしこれまで述べたように、平常時においてもその水位管理は、貯水池および下流河川環境に大きな影響を与えることが明らかになった。積雪地域に限らず、貯水池水質環境の維持管理の手段として、その有効性をさらに検討する必要があると考えられる。

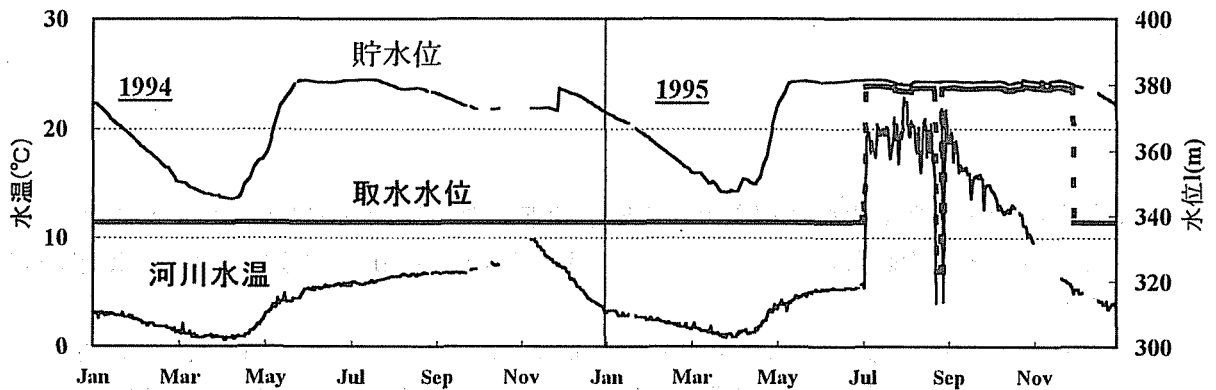


図8 貯水位、取水水位、河川水温の変化(1994-1995年)

表3 表層取水と中・底層取水の特徴

	項目	表層取水	中・底層取水
貯水池内の流動	流速分布	表層付近水平流速	鉛直流速も生じる
	流入水の滞留時間	短い	長い
	水の交換	表層部のみ	取水口水深付近まで
貯水池内の環境	生産層厚さ	薄い	厚い
	栄養塩利用効率	良い	悪い
	藻類の流出	期待出来る	期待出来ない
	底層嫌気化の可能性	高い?	低い?
下流河川への影響	放流水水温	流入水と同程度	低く一定
	放流水栄養塩濃度	小	大

6. おわりに

北海道の貯水池の水質環境および管理に関して、定山溪ダムを事例として検討した。融雪水の水質の特徴、貯水池の水の交換への貢献度、融雪以後の取水管理の重要性について検討した。さっぽろ湖は貧栄養状態の湖であり、融雪期の水質も比較的清浄である。同じ積雪地域に位置する貯水池で

あっても、これらの条件が異なる貯水池では、融雪洪水の影響も変わるであろうし、当然管理方法も違うものと考えられる。しかし、積雪地域の貯水池水質管理を考える上で、融雪洪水の影響は極めて大きいことは疑いない。

北海道には大小併せて 170 以上のダムがある。その中で比較的規模の大きな、総貯水量一千万 m^3 以上のダムは、約 30 ヶ所である¹⁰⁾。著者は、これまでの定山溪ダムの調査結果との比較を行うため、いくつかの貯水池について、水量・水質の解析を開始している。解析結果は改めて報告するが、例えば融雪期の回転率についてみると、さっぽろ湖は比較的小さい値である。したがって、道内には融雪水の影響をより強く受ける貯水池が多数あると考えられる。今後さらに詳細な検討を行い、融雪洪水の影響や融雪依存型の貯水池水質の解析・予測方法等について検討したいと考えている。

なおこの論文の一部は、第 5 回シンポジウム「環境用水の汚濁とその浄化」(環境技術研究協会、群馬工専、1998 年 5 月)で発表した。

参考文献

- 1) 余湖典昭(1994)新設貯水池の水質環境の変遷、第2回衛生工学シンポジウム論文集、225-230.
- 2) 余湖典昭(1995)新設貯水池の水質予測と検証に関する研究—定山溪ダムを例として—、水環境学会誌、18, 766-774.
- 3) Yogo N., Inoue S., Haga M., Ioriya T.(1997) Effect of Selective Intake Management on the Environment of a Reservoir, Proceedings of “IAWQ-IWSA Joint Specialist Conference; Reservoir Management and Water Supply - an Integrated System (in Prague)”, vol.2, 25-32.
- 4) Ioriya T., Inoue S., Haga M., Yogo N.(1998) Change of Chemical and Biological Water Environment at the Newly-constructed Reservoir. *Water Science and Technology*, 37/2, 187-194.
- 5) 余湖典昭、井上 聡、芳賀 卓、庵谷 晃(1997) 貯水池の水質・生物環境におよぼす取水水位の影響について、第31回日本水環境学会年会講演集、453.
- 6) 余湖典昭、井上 聡、芳賀 卓、庵谷 晃(1998) 貯水池下流河川の水質・生物環境におよぼす取水水位の影響について、第32回日本水環境学会年会講演集、23.
- 7) Yogo N.(1988) Water Quality Characteristics and Optimal Intake Management at a Reservoir in a Snowy Area, Proceedings of “XX Nordic Hydrological Conference(in Helsinki)”, vol.1, 340-347.
- 8) 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.
- 9) 竹内良治、安田一(1996) Water Quality Improvement of Reservoir and Raw water by Bottom Intake, 第47回全国水道研究発表会講演集、632-633.
- 10) 「北海道のダム」編集委員会編(1986) 「北海道のダム 1986」、北海道広域利水調査会