



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	貯水池における水温・濁度の数値解析 : 貯水池規模と取水位置が水温・濁度の鉛直分布におよぼす影響
Author(s)	大谷, 守正; Ohtani, Morimasa; 八鍬, 功 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 142, 73-84
Issue Date	1988-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42129
Type	departmental bulletin paper
File Information	142_73-84.pdf



貯水池における水温・濁度の数値解析
—— 貯水池規模と取水位置が水温・濁度の鉛直分布におよぼす影響 ——

大谷 守正 八 嶽 功

(昭和 63 年 6 月 30 日受理)

Numerical Simulations of Temperature and Turbidity in Reservoir
—— Effect of the Reservoir Scale and Level of Outlet on Vertical ——
Distribution of Temperature and Turbidity

Morimasa OHTANI and Isao YAKUWA

(Received June 30, 1988)

Abstract

In this study, we performed a numerical simulation and compared the vertical distribution of water temperature and turbidity of Takisato and Kanayama Reservoir, whose scales and outlet levels are different from each other.

Their distribution depends strongly on the outlet levels even in the same reservoir. The distributions of temperature and turbidity of the discharged water depends weakly on the levels since the discharge causes a mixing of the upper and lower layers. It was shown that scale and water depth do not explicitly influence the temperature and turbidity of the discharge water.

1. 緒 言

貯水池とくに多目的ダム貯水池は近代的な水配分を構成する重要な要素であり、水利用の高度化にともない各種の要求にみあう所要の性質の水を選択的に供給することが必要不可欠になってきている。今日では水量制御のみならず水質制御においても考慮しなくてはならない。しかし一方、人工的な構造物によって自然な流況を変化させることによりその量と質との両面において新たな研究課題を生みだしている。貯水池は、水理学的にみて自然湖沼と類似な性格を有しているが、その基本的な相違は余水吐、取水口などの人工的な施設が温度成層や濁質の挙動に大きな影響を与えることである。ダム貯水池の水温や濁度の鉛直分布は自然条件によって季節的に変化するのとは勿論であるが、自然条件が同じであっても、貯水池の大きさや、取水位置の相違によって異なる形になることが知られている。

本論文は現在空知川滝里に建設予定の滝里ダム貯水池を対象にして、表層取水、底層取水をそれぞれ仮定した場合の水温、濁度の季節変化のシミュレーション解析¹⁾を行い、水温、濁度の鉛直分布が取水位置の相違によりどの程度影響されるかを検討するとともに、ダム予定地点より上流に現存し貯水池規模が滝里ダムより大きい金山ダム貯水池について、滝里ダムの場合と同じ水理

条件および気象条件を用いて同様の解析を行い、貯水池の大きさの相違による影響について考察したものである。図-1に滝里、金山両ダム貯水池の位置を示す。

2. 数値解析法

貯水池水理の数値解析法には MIT モデル、安芸、白砂²⁾らの電研モデル、電研モデルをさらに発展させた宮永³⁾らのモデル、さらに貯留水の運動学的挙動を考慮した岩佐、松尾⁴⁾らのモデルがあるがここでは電研モデルを用いることにする。

水温、濁度の予測解析に用いた数値解析法は以下のものである。モデルを単純化し成層化した貯水池の水温、濁度分布は水平方向に一様とみなし、鉛直方向のみに変化するものとして1次元解析を適用する。

基礎方程式は水温の時間的変化、濁質の時間的変化および流量の連続条件を満たすものとし次のように表される。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{B}{A} (u_i T_i - U_o T) - \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial y} (vAT) + \frac{(\alpha_T + D_T)}{A} \frac{\partial}{\partial y} (A \frac{\partial T}{\partial y}) - \frac{1}{\rho c A} \frac{\partial}{\partial y} (A \phi) \quad (1)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{B}{A} (u_i C_i - u_o C) - \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial y} (vAC) + \frac{(\alpha_c + D_c)}{A} \frac{\partial}{\partial y} (A \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial y} (W_o AC) - \frac{W_o C}{A} \frac{\partial A}{\partial y} \quad (2)$$

$$\frac{\partial Av}{\partial y} = B(U_i - U_o) \quad (3)$$

ここに、 u 、 v を流速の水平、鉛直成分、 T ：水温、 C ：濁質濃度、 T_i ：流入水温(連行後) $A(y)$ ：標高 y の貯水池平面積、 $B(y)$ ：標高 y の貯水池平均幅、 $u(y)$ ：標高 y の流入水平平均流速、 $u_o(y)$ ：標高 y の流出水平流速、 α_T 、 D_T ：熱による分子、渦動拡散係数、 $\phi(y)$ ：標高 y における輻射熱、 C_i ：流入濁質濃度(連行後)、 α_c 、 D_c ：物質による分子、渦動拡散係数、 $W_o(y)$ ：標高 y の濁質の沈降速度とする。

また貯水池よりの流出条件は次の日野、大西⁵⁾の式を用いた。

$$\delta = G^{1/3} \left(\frac{Q}{\theta} \right)^{1/3} \left(\frac{\rho}{g} / \left| \frac{\partial \rho}{\partial y} \right| \right)^{1/6} \quad (4)$$

ここに δ ：取水層厚、 Q ：流出流量、 G ：無次元数で白砂⁶⁾の実験によれば、表、底層流出に対して0.324、中層流出では0.134の値をとる。 θ ：流出口開口角(ラジアン)。なお流速分布は Gauss 型として与えられ、

$$u_o(y) = u_{o\max} \exp\left[-(y - y_{out})^2 / 2 \sigma_o^2\right] \quad (5)$$

である。ここに $u_{o\max}$ ：標高 y_{out} における流速、 y_{out} ：取水口中心標高、 σ_o ：流速分布形による標準偏差値である。

いま現象が水平方向に一様であるから鉛直一次元モデルとし、貯水池流動形態、および熱、濁

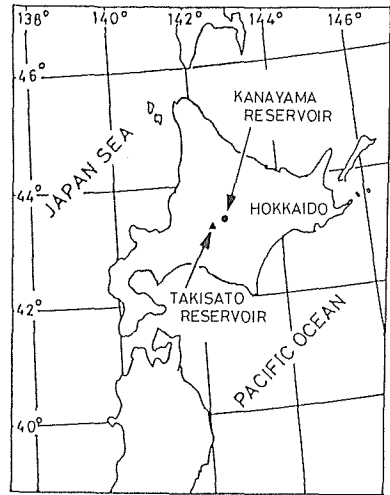


図1 滝里、金山両ダム貯水池の位置。

質濃度収支を考える。貯水池を厚さ 2 m の水平層に分割し、それぞれの層について、熱および濃度保存則を適用する。また流出にともなう鉛直方向の流動層厚は貯水池鉛直方向密度分布により規制され、流速分布はガウス分布で近似される。以上の考え方にしたがって基礎方程式を差分化し、与えられた入力条件のもとに水温、濁度の分布を計算した。入力条件として貯水池の形状、流入量、気象条件、流入水温、流入濁質濃度、濁質の平均粒径、貯水池の運用、初期水温、濁度分布等を必要とするが、流入量は昭和 46 年の実測資料を用い、気象条件として日射量、雲量、気温、湿度、風速等の気象要素は昭和 56 年の実測値を与えた。計算開始日を 5 月 1 日とし、初期条件として表層水温 7.9℃、底層水温 4.8℃、表層濁度 4 度、底層濁度 54 度の直線鉛直分布を与えた。また毎日の水文気象条件は日平均値を用い、貯水池運用条件を与えて日々の数値計算を 10 月 31 日まで行った。なお計算の対象とした二つの貯水池の諸元を Table. 1 に示す。

Table 1. 貯水池諸元

滝里ダム貯水池 (建設予定)		金山ダム貯水池
湛水面積	6.8 km ³	9.2 km ³
総貯水容量	108.0 × 10 ⁶ m ³	150.45 × 10 ⁶ m ³
有効貯水容量	85.0 × 10 ⁶ m ³	130.42 × 10 ⁶ m ³
常時満水位	EL150.09m	EL345.00m

3. 数値計算結果

図-2 の実線はシミュレーションの対象とする滝里ダム貯水池への流入量で、昭和 46 年度 (平水年) の実測値である。また点線はダム貯水池の運用計画による放流量で 5 月から 10 月までの経時変化を示したものである。なお表層取水の場合も底層取水の場合もこれらの量は同じものとする。また図-3 は計算対象期間中の運用計画に基づく貯水位経時変化で 5 月、6 月は満水位 158.0 m に保たれ流入量と放流量は同じであるが、6 月末から水位を下げて 8 月末には水位 142.4 m とし、9 月からは下流要求量以外を貯留することにより 10 月に再び満水位となる。

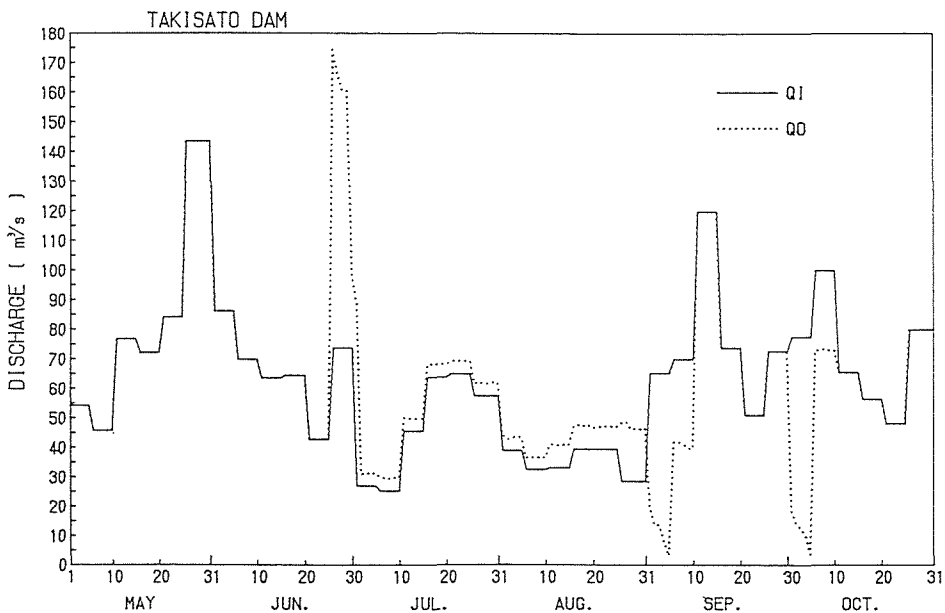


図2 滝里ダム貯水池への流入量 (実線) および放流量 (点線)。

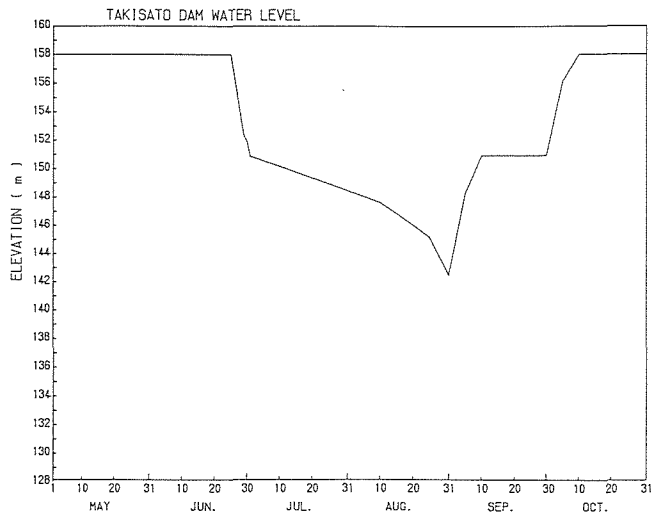


図3 滝里ダム貯水池の水位経時変化。

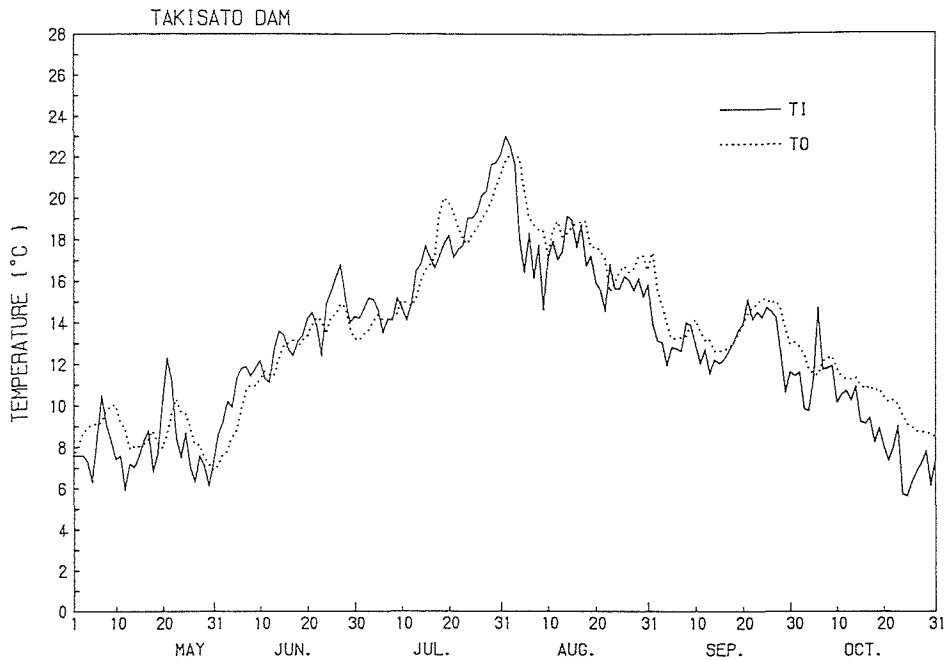


図4 流入河川の水温（実線）と放流水の水温（点線）：滝里ダム・表層取水。

流入河川水の水温，濁度は空知川における実測の結果から図-4，図-5の実線で示したように与える。水温の場合は外気から与えられる熱量，濁度の場合は懸濁粒子の沈降等を考慮して各層の水温，濁度を計算する。放流水の水温，濁度は各層の値と流出による流れの分布から求めることができる。図中の点線で示したのは表層取水における放流水の水温，濁度計算値である。7月までの昇温期には表層放流水温は流入河川水温より低い傾向にあるが，8月以降の降温期には貯水池の貯熱効果によって，放流水温は流入水温より高くなる。濁度については，貯水池内における懸濁粒子の沈降，拡散により放流水の濁度は流入水より小さい。

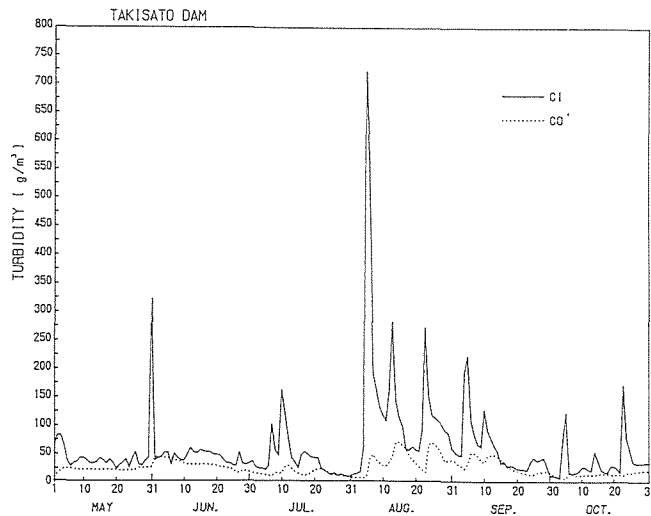


図5 流入河川の濁度(実線)と放流水の濁度(点線):
 滝里ダム・表層取水。

図-6は表層取水と底層取水における水温と濁度の鉛直分布経時変化を比較したものである。期間は5月1日から10月31日までで、約20日毎の計算値を示した。ただし濁度の急変する8月4-10日の期間は1-2日毎の変化を示してある。図の(a)から(c)までの左側の列が水温、右側の列が濁度で、各図とも実線が表層取水、点線が底層取水の場合を表す。水理条件、気象条件はすべて日平均値を使用し、5月1日の分布を初期条件として以下毎日の水温、濁度の鉛直分布を計算したもので図(a)では6月1日までは外気温の上昇が小さいので、上層水温の上昇も小さいが、底層取水では上層の高温水が吸引されるため若干高い。濁度は両者ほとんど同じであるが、5月31日濁度320度の流入水が流入したことにより、6月1日の鉛直分布に変化がみられる。すなわち上層部は表層取水の方が底層取水より濁度が大きい、下層部は逆になっている。しかし濁度分布に変化があらわれるのは短期間で、6月10日の分布は直線分布に近い。6月26日に放流量が174.36 m³/sとなり以後は放流量が流入量より多いので水位が減少し、水温分布への底層取水による吸い込みの影響はますます顕著になるが、濁度分布は取水位置によらずほとんど同じで、絶対値は小さくなっている。この期間には外気温の上昇にともなって表層水温も大きく上昇している。

図(b), (c)では表面水温は8月2日をピーク(表層取水:23.96℃, 底層取水:26.81℃)として以後下降しているが、表層からの冷却に伴って底層取水では中間水深に2次躍層が発達している。8月4日から流入濁度が急激に増大し、8月5日にはピーク値が720度にも達したため、8月5日から濁度鉛直分布に変化があらわれ、底層取水ではとくに底層の濁度が大きくなっている。8月20日の表層取水、底層取水における濁度鉛直分布はほとんど平行であるが、絶対値は前者のほうが大きい。

9月以降では水温鉛直分布は垂直に近付き、表層取水、底層取水による分布形の相違が徐々に小さくなっている。濁度分布は9月20日には両者ほとんど同じで、以後垂直分布に近付き絶対値も小さくなっている。

図-7、図-8は表層取水と底層取水における放流水温と放流濁度を比較したものである。放流水温は昇温期の5月、6月に表層取水が底層取水より2℃程度高いが、それ以外に大きな差異は

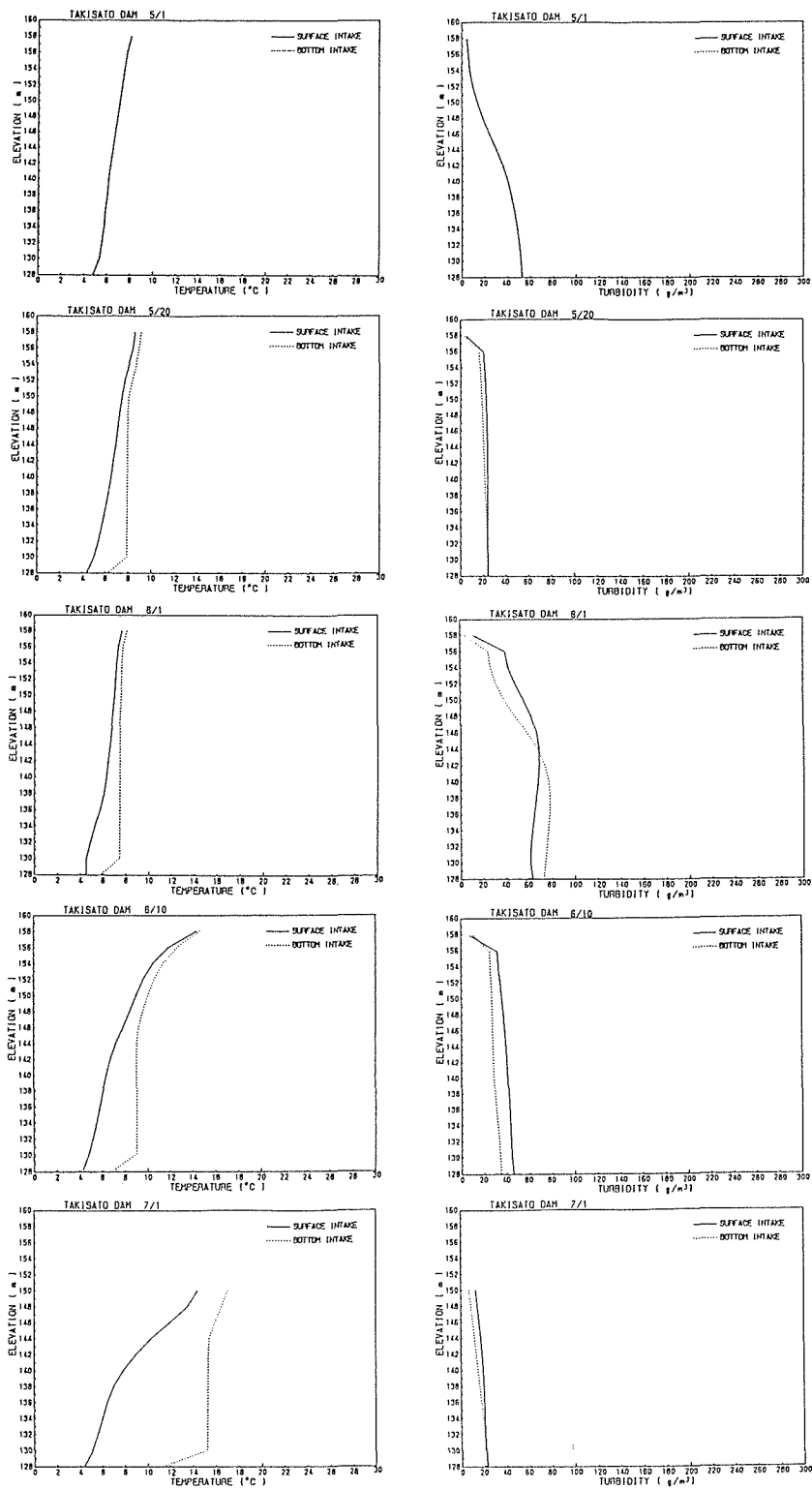
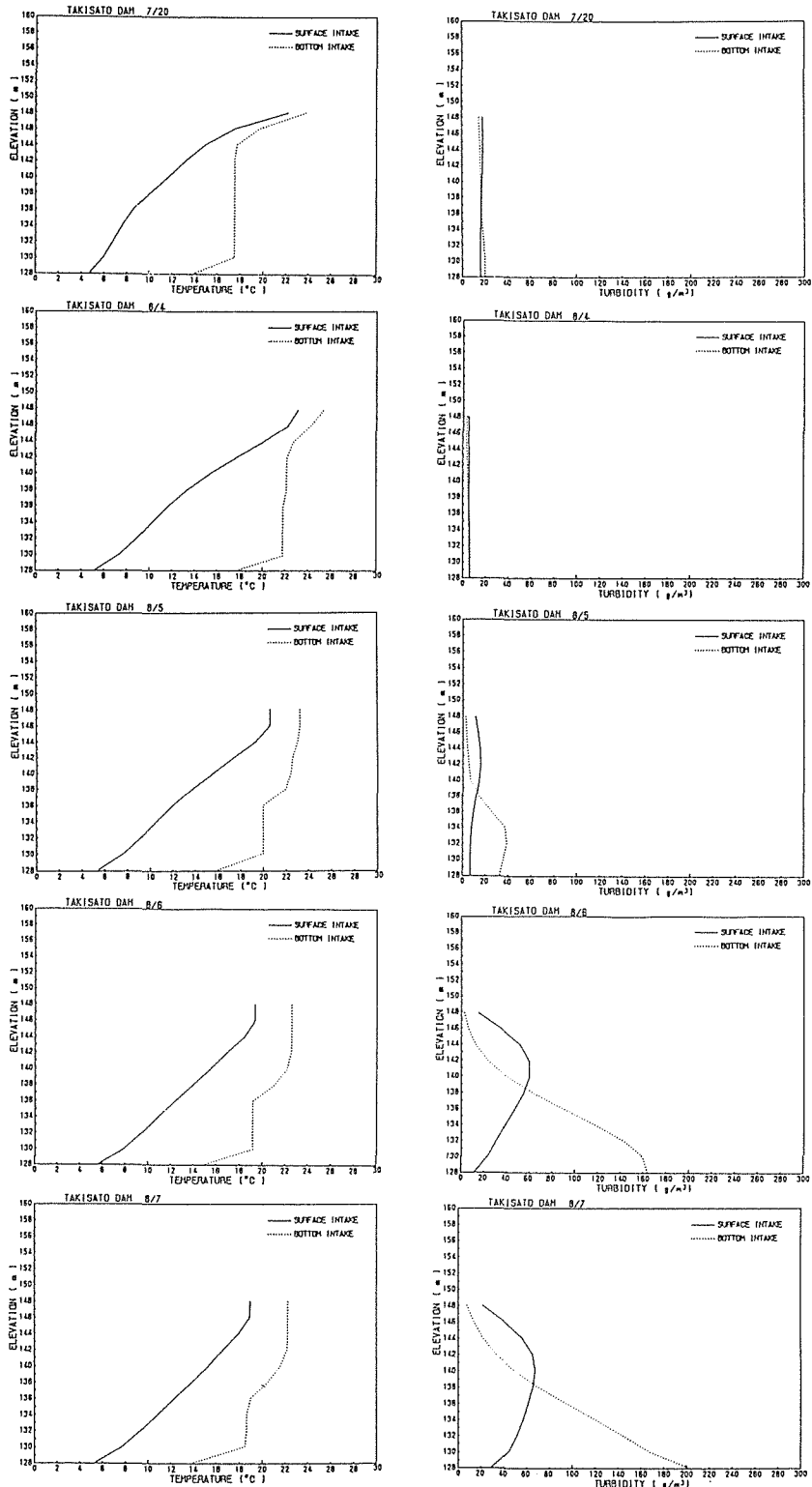
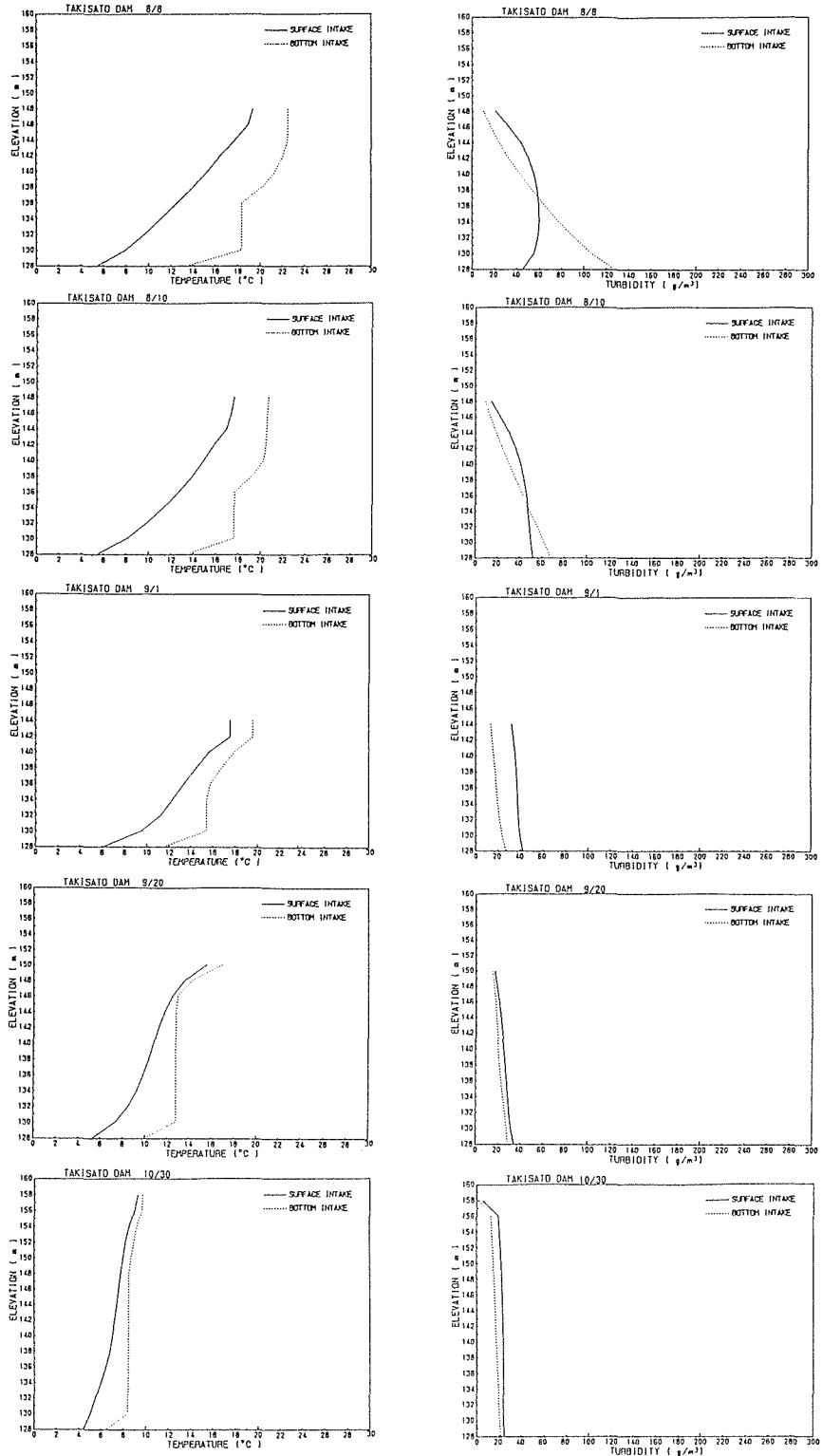


図6 滝里ダムにおける水温(左列)、濁度(右列)鉛直分布の経時変化(実線:表層取水,点線:底層取水)(a)



滝里ダムにおける水温（左列）、濁度（右列）鉛直分布の経時変化（実線：表層取水，点線：底層取水）（b）



滝里ダムにおける水温（左列）、濁度（右列）鉛直分布の経時変化（実線：表層取水，点線：底層取水）（c）

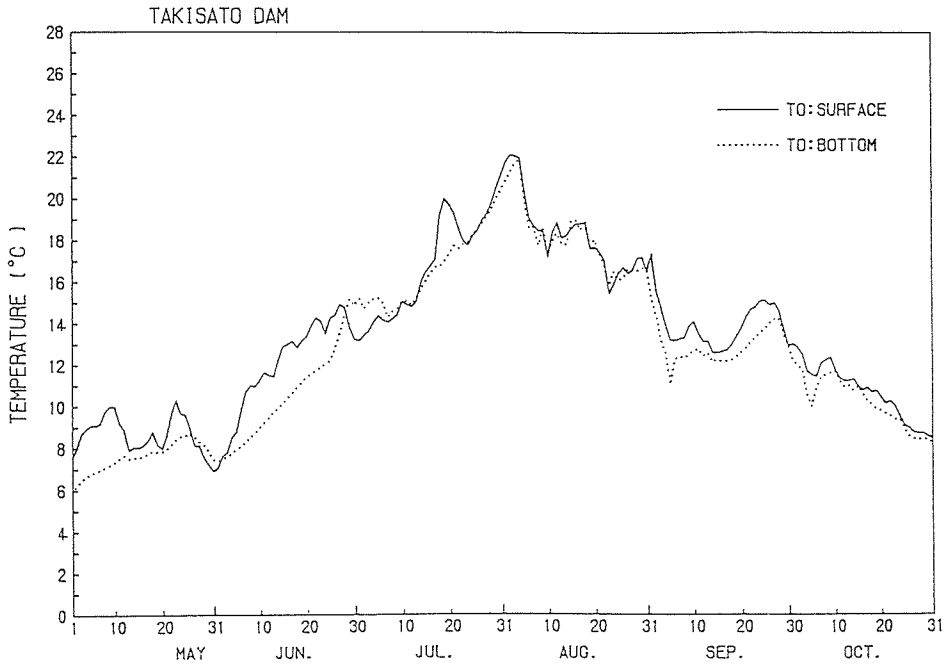


図7 放流水温の比較 (実線：表層取水, 点線：底層取水)。

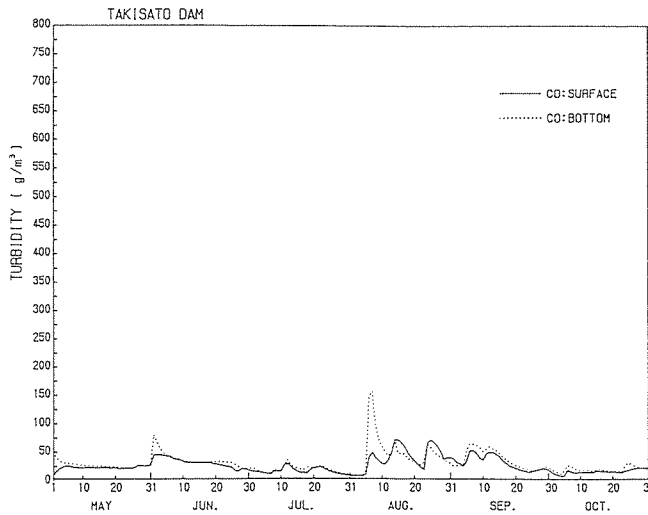


図8 放流水濁度の比較 (実線：表層取水, 点線：底層取水)

みられない。これは表面水温、底部水温が異なっても、取水の際の吸い込みによりそれぞれ取水口の上下層平均化されたものが取水温となるからである。放流水濁度については5月31日、8月5日に流入濁度が急増したため、6月1日には36.6度、6月2日には21.7度それぞれ底層取水が表層取水より放流濁度が大きく、また8月6日、7日にはその差は107度となっている。それ以外には大きな差異はみられない。

次に滝里ダムの場合と同一の自然条件における金山ダム貯水池の水温、濁度鉛直分布を計算し、

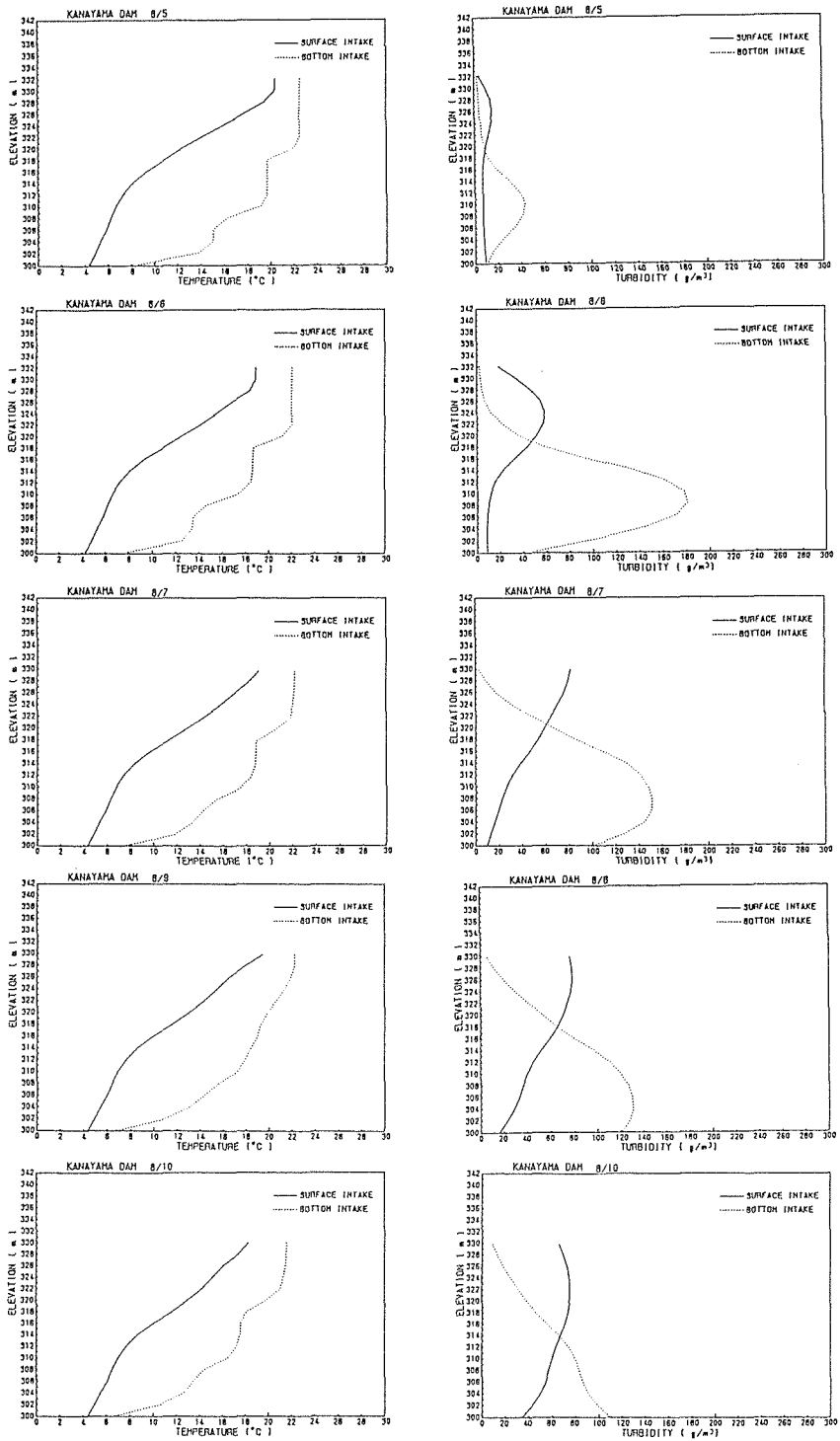


図9 金山ダムにおける水温(左列), 濁度(右列)鉛直分布の経時変化(実線:表層取水, 点線:底層取水)

放流水温、放流水濁度が貯水池の大きさにより、また取水位置の相違によってどの程度影響されるかを考察する。

計算の対象とする期間は5月1日より10月31日までで、流入量、放流量を滝里ダムの場合と同一とするから金山ダムにおける貯水位経時変化は滝里ダム(図-3)とは若干異なる。また流入水の水温、濁度は滝里ダムと同一なるものとし、図-4、図-5の実線で示した経時変化を使用する。取水位置は表層取水と底層取水とするが、金山ダムの場合底層取水における取水口の位置は標高316.8mで底から約17mの高さにある。

図-9は金山ダムにおける水温、濁度鉛直分布の経時変化の中でとくに濁度が急変する8月5日から8月10日までの変化を示した。鉛直分布は概略的には滝里ダム(図-6)と大きな差異はないが、底層取水における取水位置が金山ダムでは底から17m、滝里ダムでは底であるため、その影響が分布形にあらわれている。すなわち金山ダムの冷却期における水温鉛直分布は取水口の高度付近に躍層が形成され、さらに底近くにも躍層が発達するので階段状の分布形となっている。また流入濁度が急増した8月5日以後の濁度分布は金山ダムの底層取水でははじめ底から10m付近に濁度最大値があり、懸濁物質の沈降とともに濁度最大位置は徐々に低下している。表層取水における8月7日の表面濁度が前日の17.8度から81.7度に急増しているのは当日の流入水温が表面水温に近く、計算上流入水が表面付近に潜入するため、実際にはこのように急激な変化はないものとおもわれる。

金山ダムと滝里ダムの表層取水と底層取水における放流水の水温と濁度を比較すると。水温については、冷却期の底層取水で金山ダムがやや高い以外は両者ほとんど同じである。また濁度については、底層取水の場合8月5日以後数日にわたって滝里ダムの方が大きい。これは懸濁物質の沈降によって高濁度の位置が底の方に移動するためである。

4. 結 論

滝里ダムと金山ダムを対象に、同一の自然条件の下で水温、濁度鉛直分布の経時変化を計算し、取水位置の相違と貯水池の大きさの相違が分布形と放流水の水温、濁度におよぼす影響について考察した。

同一の貯水池でも取水位置が異なれば、水温、濁度の分布は全く異なる形になるが、放流の際は取水口の上下層の水が吸い込まれるため、水温、濁度とも平均化され、それほど大きな差異は生じない。また両ダム貯水池の水深の相違によって分布形は若干異なるが、両貯水池の大きさによる放流水への影響は、流入水の濁度が急増する場合を除いて小さい。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、ひとかたならぬご協力をいただいた北海道開発局石狩川開発建設部滝里ダム建設事業所および金山ダム管理所に対し、ここに厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 滝里ダム環境アセスメント委員会：滝里ダム環境調査報告書、資料編、pp.195-223、1983
- 2) 安芸周一、白砂孝夫：貯水池濁水現象の調査とその解析(その1)-成層型貯水池の流動形態と選択取水の数値解析、電力中央研究所依頼報告、No.74506、1974
- 3) 宮永洋一、秋本 保、石橋 毅、他：貯水池流動形態のシミュレーション解析手法、電力中央研究所報告、研究報告、No.378022、1979
- 4) 岩佐義朗、松尾直規、貯水池水理の解析モデルの水温予測への適用、土木学会論文報告集、第308号、pp.59-68、

1981

- 5) 日野幹雄, 大西外明, 成層密度流に対する Point Sink の高さの効果, 土木学会論文報告集, No. 163, pp. 39-48, 1969
- 6) 白砂孝夫: 貯水池濁水対策に関する研究-第2報, 選択取水法の水理的検討, 電研技術第二研究所報告, No. 73509, 1973