



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	貯水池における密度成層に関する研究（第1報）：ダム貯水池の水温成層化過程
Author(s)	大谷, 守正; Ohtani, Morimasa; 八鍬, 功 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 98, 87-96
Issue Date	1980-05-30
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/41609">https://hdl.handle.net/2115/41609</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	98_87-96.pdf



## 貯水池における密度成層に関する研究(第1報)

—ダム貯水池の水温成層化過程—

大谷 守正\* 八 鍬 功\*

(昭和54年12月27日受理)

## Studies on the Density Stratification in Reservoirs (1)

—Process of the Thermal Stratification in a Reservoir—

Morimasa OHTANI and Isao YAKUWA

(Received December 27, 1979)

### Abstract

Seasonal variation of the water temperature and behavior of the thermal stratification of the water in dam reservoirs are discussed in this paper, on the basis of the observational results in the Kanayama Dam Reservoir from October, 1967 to October, 1968.

The vertical distribution of the water temperature changes in the same way as the seasonal variation of the water temperature of common lakes. But at the points far from the dam, the variation is strongly influenced by the mixing with the inflow river water.

### 1. 緒 言

自然湖沼に比べて流入、流出量の時季的变化が著しく異なる人工湖沼においても夏季には表層の水温が上昇し、下層の水温との間に密度差を生じ成層状態が作られることは良く知られている<sup>1)</sup>。しかし人工湖では自然湖沼の場合と異なり人工湖本来の目的のため取水を行なうので、取水口の位置によってはその付近の水温の鉛直分布が変化し成層状態に影響を及ぼす。また流入量と流出量が等しくない時季が多いため水位の変動が激しく、洪水調節時などはある水位から上は短時間に全く別の水と入れかわることもある。さらに洪水時などには浮遊物を多く含んだ密度の大きい河川水が密度流となって流入するが、これらはいずれも湖内の成層状態と深いかかわりあいを持っている。

本報告ではとくに密度成層が水温の変化のみによって形成される場合の例として、湖水の濁度が小さい金山ダム貯水池の温度成層の季節的变化<sup>2)3)4)</sup>について述べる。北海道では冬季湖水が結氷するので表層水温が0°Cに近く、一方底層水温は4°C前後であるため、湖水の成層は冬季安定状態となる。従って表、底層の水温が逆転する夏季安定状態との間に春、秋2回湖水の大循環が行なわれる。観測は月平均1回各季節において行なわれ、湖水の水温鉛直分布をもとの空知川筋に沿う堤体から湖尻に到る数点で測定し併せて湖内3点において装置した日記記録計により表面水温を測定した。引続き濁度が大きく浮遊物が密度に影響を及ぼす貯水池内の密度躍層の形成について、観測、考察を行なう予定であるが、とりあえず第1報として水温変化のみで密度

\* 理学第一講座

躍層が形成される場合を述べる。

## 2. 観測方法

石狩川の最大支流である空知川を堰止めて作られた金山ダム貯水池は集水面積 470 km<sup>2</sup>、湛水面積 9.2 km<sup>2</sup> でその集水域は狩勝峠までおよぶ。この貯水池は洪水調節、かんがい、発電、上水道等四つの目的を持った多目的ダムである。ダム貯水池の諸元を表1に、また平面図を図1に示す。図中の黒丸印は観測点、S. R. の記号は自記記録計設置点を示す。

観測は1967年10月から1968年10月まで平均約月1回貯水池内数点で行ない、ダムサイトから川筋に沿って、1.5~2 km 毎にある兩岸の標識によって測点を定め毎回同一の地点で水温鉛直分布を測定した。貯水池の水位は増減するので測点の数は一定してないが通常はダムサイトから川筋に沿って 9.2 km (Sta. 7) まで、水位が上昇している場合には 12.1 km (Sta. 9) まで測定した。同時に流速、気象条件等の観測もあわせて行った。これらはいずれも貯水池内において船をアンカーによって固定しサーミスター温度計によって測定したものである。他に自記記録計を鉄橋 (S. R. 1, ダムサイトより 1.01 km)、鹿越大橋 (S. R. 2, ダムサイトより 8.16 km)、伊勢橋 (S. R. 3, ダムサイトより 14.0 km) の各地点に設置し流入水の湖内におよぼす影響を観測した。自記記録した水温のセンサー部にはサーミスターを用いポリコーダーに記録させた。観測値のうち代表的なものとして、Sta. 1 (ダムサイトより 50 m 上流)、Sta. 4 (3.56 km)、Sta. 6 (8.16 km)、Sta. 7 (9.40 km)、Sta. 8 (10.96 km)、Sta. 9 (12.09 km) における鉛直分布図を図4に示す。

表1 金山ダム貯水池諸元

湛水面積	9.2 km <sup>2</sup>
常時満水位	EL 345.00 m
最低水位	EL 320.00 m
有効水深	25 m
総貯水容量	150,450,000 m <sup>3</sup>
有効貯水容量	130,420,000 m <sup>3</sup>
堆砂および死水容量	20,030,000 m <sup>3</sup>
洪水調節容量	51,400,000 m <sup>3</sup>
計画洪水容量	1,000 m <sup>3</sup> /sec
計画放流量	240 m <sup>3</sup> /sec
調節流量	760 m <sup>3</sup> /sec

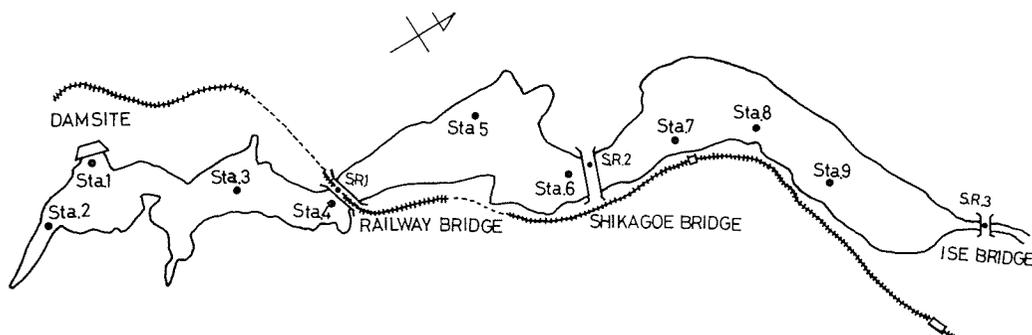


図1 金山ダム貯水池平面図

### 3. 観測結果と考察

図2は金山ダム貯水池 (Sta. 1) における水温年変化を示す。図によれば年間を通じて大きな水位変動が見られるが、夏季と冬季に成層が作られ特に夏季には安定な温度成層が見られる。またその交代期、11月下旬から12月上旬及び4月には全層が4°C前後になる期間が存在し全層にわたって水温が一定で湖水の大循環が行なわれていることを示している。このように1年間の水温変化は安定な停滞期と循環期とがくりかえされていることがわかったが、このような水温年変化は自然湖沼と同様である。

次に毎月行なった観測結果について見ることにする。図3は観測期間中の流入、流出量及び水位変動の一例を示したものである。これは金山ダム管理事務所の記録によるもので、9月10日最低水位となりその後、徐々に水位は上昇して12月半ば最高水位を示し、以後3月末迄徐々に減水している。図中矢印で示したのは観測日である。

図4 (1) から図4 (12) までは湖内において観測した水温鉛直分布をひとつにまとめたもので

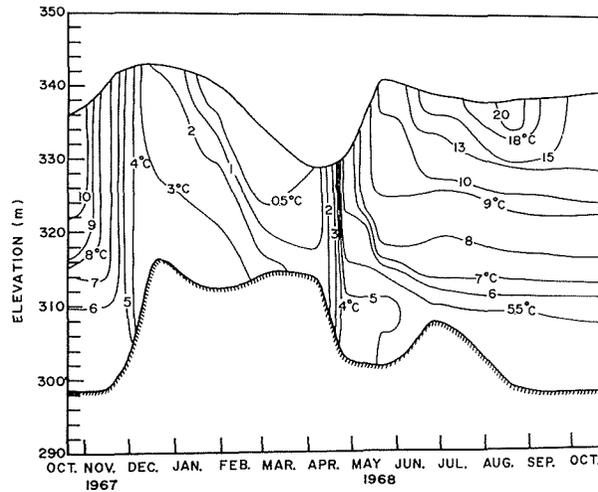


図2 金山ダム貯水池における水温年変化

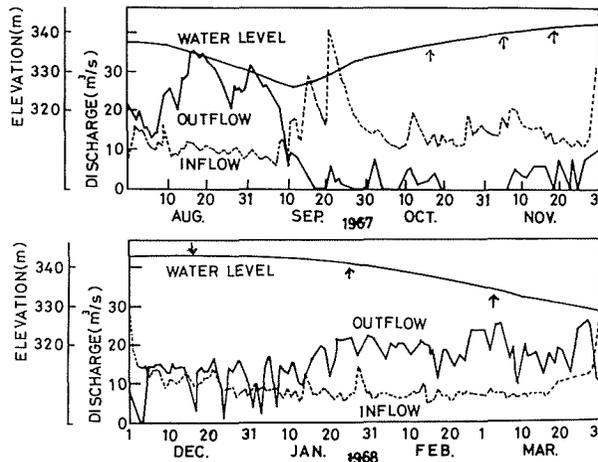


図3 流入、流出量及び水位変化

ある、図4(1)は1967年10月14日の測定値であるが、これは水温鉛直分布の型としては図4(12)1968年10月20日の測定値に続くものであり、分布型は1年を周期として変化するものである。(1)の場合は水面からの熱放散によって湖水が冷却されると同時に湖水より低温の流入水との混合によって冷却される。Sta.1では温度躍層は21mの深度にあるが表層水の冷却による対流のため、表水層内の水の混合が行われて表水層の厚さは増加するとともに平均水温は低下する。また流入水との混合による冷却のため上流にある地点ほど水温は低くなる。これは(1)から(2)1967年11月7日への水温鉛直分布の変化によくあらわれている。ただし深水層の水温分布はほとんど変化なく一定の形を保っている。更に冷却が進むと深水層の厚さはますます厚く、平均水温は低くなって遂に(3)1967年11月20日に見られるように等温線は垂直になり、湖水

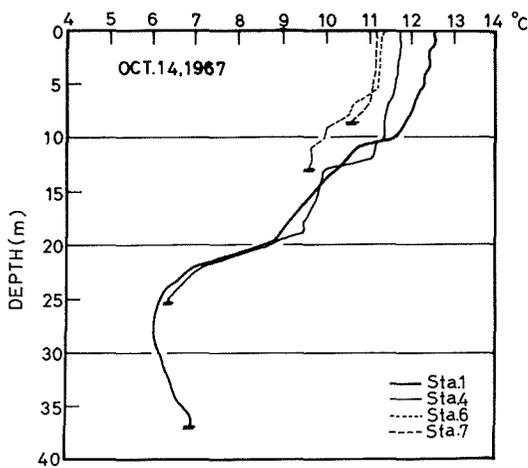


図4(1)

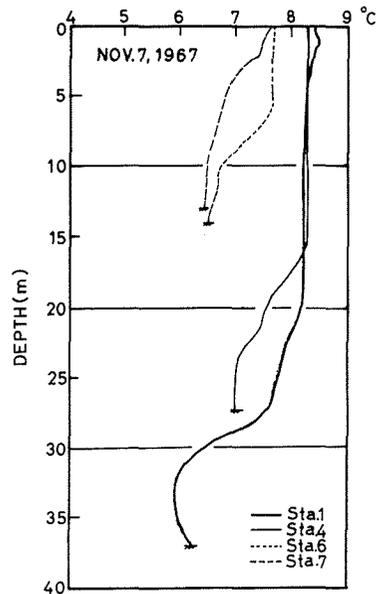


図4(2)

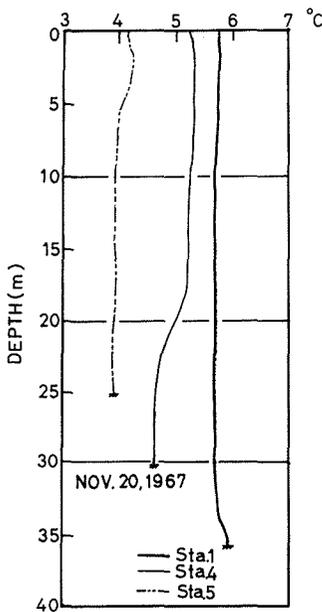


図4(3)

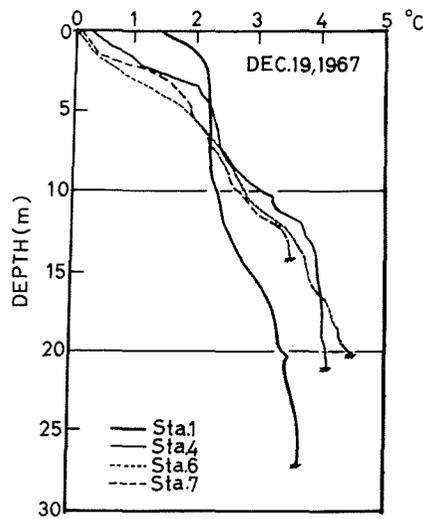


図4(4)

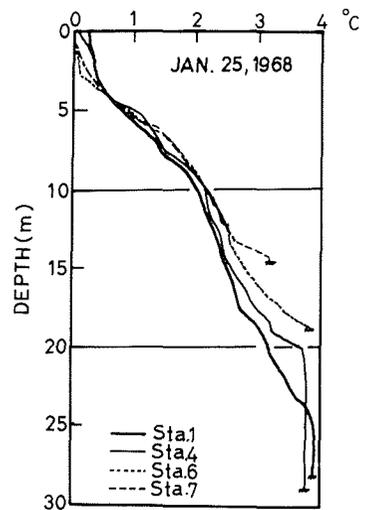


図4(5)

内の成層状態は極めて不安定となる。この傾向は各地点とも同様である。なおこの時季には湖水表面の結氷が進行中で、上流から Sta. 5 附近まで既に薄い氷が張りつめていた。(4) 1967年12月19日には、表面は全面的に結氷し、氷層は平20cm均程度に達していた。流入水の水温は0°Cに近く、また湖水の表面水温も0°C、底水層は4°Cに近くて成層状態は安定に近づいているが、Sta. 1の水溫鉛直分布は表層水が上流部より高く、低層水は上流部より低くて上流部の水溫分布と互に交叉した形となっている。これは湖水の成層状態が上層が高温で下層が低温のいわゆる夏季型の安定成層から上層が低温で下層が高温の冬季型安定成層に移行する11月中に湖水の大循環が行なわれたことを示すものである。(5) 1968年1月25日から(6) 1968年3月6日にかけては成層状態は冬季型であり0°C近い流入水が上層部に混合するため、水溫鉛直分布は10~15m附近の水溫が次第に下って下に凹型の形から下に凸の形となっている。

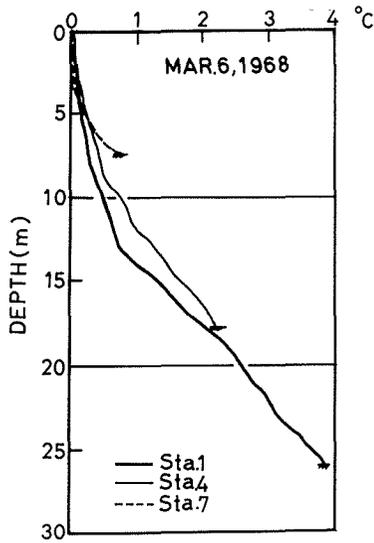


図 4 (6)

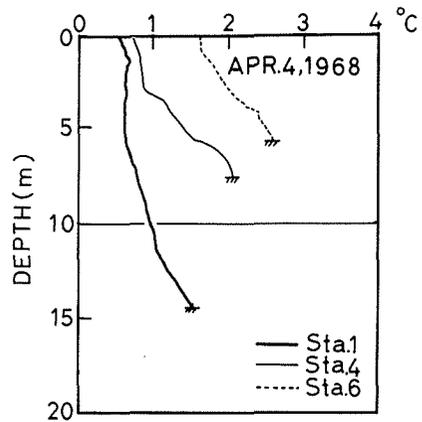


図 4 (7)

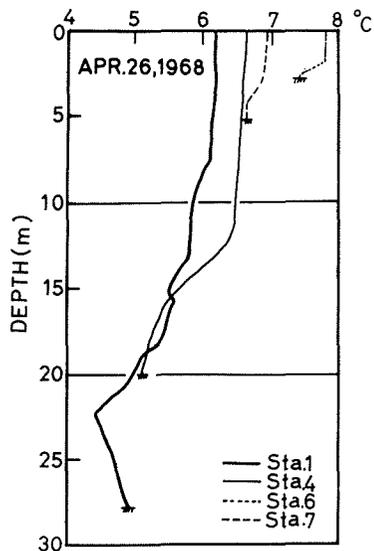


図 4 (8)

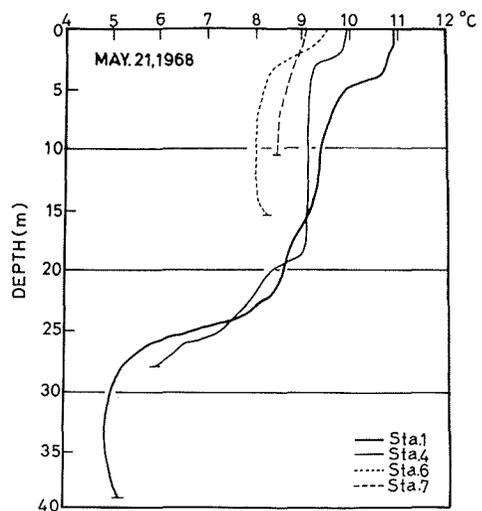


図 4 (9)

(7) 1968年4月4日からの観測は受熱期に属するもので、4月4日には流入水温の上昇により、上流からもとの川筋にそってダムサイト地点から7kmの地点まで解氷が進み、湖岸および下流側は未だ雪氷におおわれていたが全面解氷が間近の状況であった。流入水の混合によって上流部から湖水温が上昇していることは水温分布が上流部程4°Cに近づいていることから明らかである。

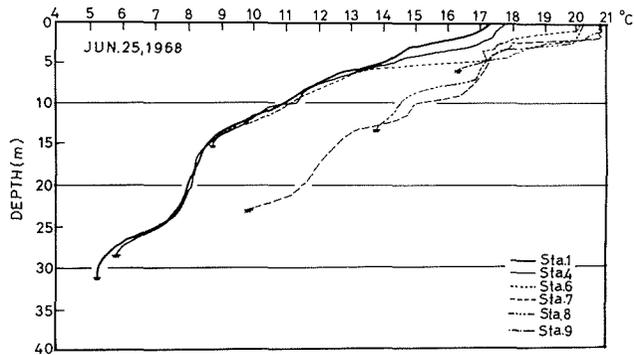


図 4 (10)

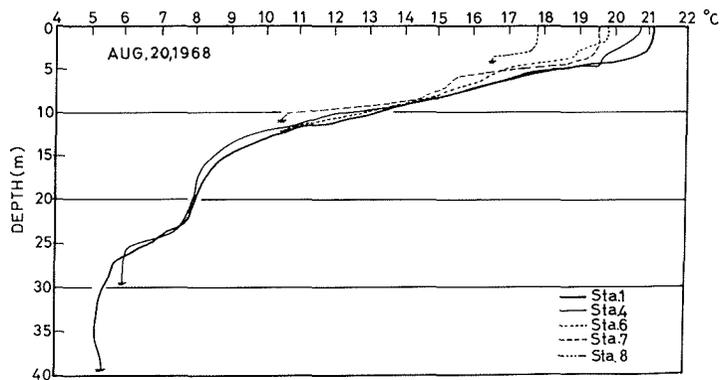


図 4 (11)

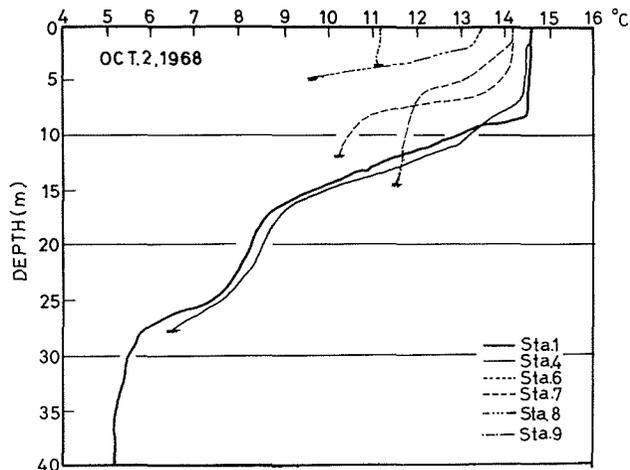


図 4 (12)

(8) 1968年4月26日は全面解氷後で、水温は更に上昇し $4^{\circ}\text{C}$ を越えるのでこの間に再び冬季成層型から夏季成層型に移行する大循環が行なわれる。(9) 1968年5月21日には成層状態はやや安定し、Sta. 1の水温鉛直分布には26mの附近に躍層が出来ている。表水層の厚いのは、この部分が外界からの受熱と循環による混合によって形成されたからであろうとおもわれる。なお、この日に上流側の水温がSta. 1に比べて低くなっているのは、低温の日が続き流入水の水温が特に低かった為であろうとおもわれる。(10) 1968年6月25日には流入水温の上昇と湖水自身の外界からの受熱によって表層水の水温は急激に上昇し、成層状態は安定な夏季型になっている。(11) 1968年8月20日には上層水の水温は更に上昇したが、下層部の水温は変化なく、(10)と同じ分布型をしている。(12) 1968年10月2日は水温分布型から見ると既に放熱期に入っており表層水の冷却によって対流混合が起ることから9m附近にも躍層が発達するので、鉛直分布は躍層が2つある二段階の形になっている。

また流入水の水温低下により上流部低温となっている。このような1年を周期とする水温鉛直分布の変化は図5に明らかに見られる。図はSta. 1における各測定時の水温鉛直分布を示したもので、(1)は受熱期、(2)は放熱期における変化である。(2)の点線で示した⑩⑪は、年度の異なるものである。縦軸は標高で各分布曲線の上端は当時の水面、下端は水底を示す。また図中の番号は図4の測定日を示す番号と同じである。従って上端のばらつきは各測定時の水位の変化を示している。

図によればSta. 1では受熱期には底層部の水温は一定で表層部の水温のみが上昇し、放熱期には表水層の厚さが増して躍層の位置が下がり遂に等温線が垂直になる。これは通常自然湖に見られる水温年変化と同じ傾向であって、上流部の各地点でもこの傾向は見られるが流入水の影響を受けるためSta. 1における程明瞭ではない。特に季節によって上流部と下流部の水温が逆転することは明らかに流入水の影響であってダム貯水池における水温変化の大きな特徴である。

図6は貯水池全域(縦方向)の水温分布図の一例である。(1)は冬季安定型への移行時、(3)は夏季安定型への移行時に見られる水温分布であり等温線がいずれも上流側より傾斜し湖内の水の不安定な様子が見られる。(2)、(4)は冬季安定型夏季安定型の典型的な水温分布を示しており、(2)は上層が低温、下層が高温、(4)は上層が高温、低層が低温になっていていずれも等温

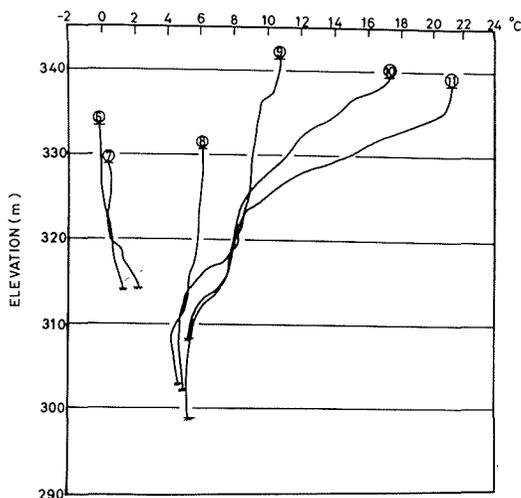


図5 (1) Sta. 1における水温鉛直分布(受熱期)

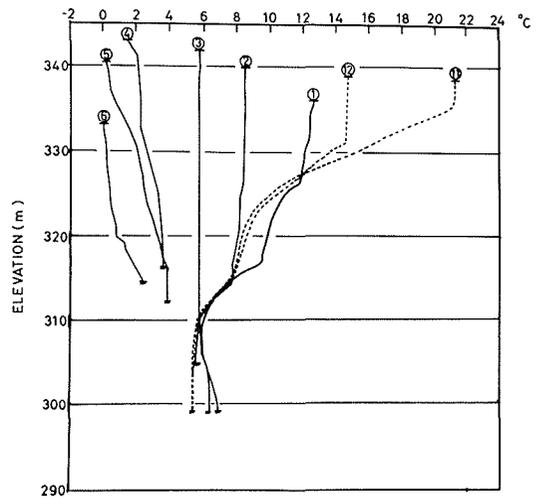


図5 (2) Sta. 1における水温鉛直分布(放熱期)

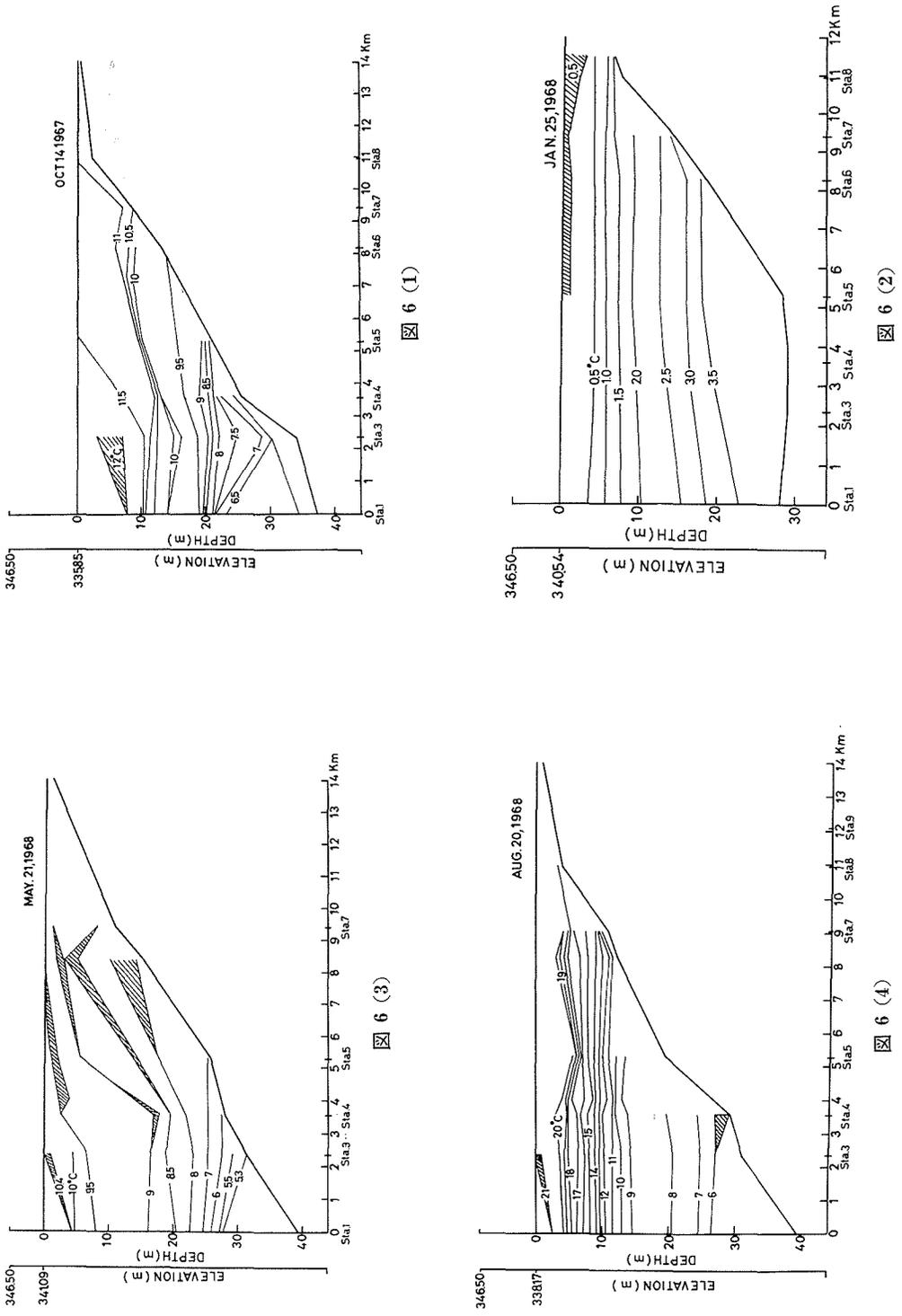


図6 貯水池全域(縦方向)における水温分布

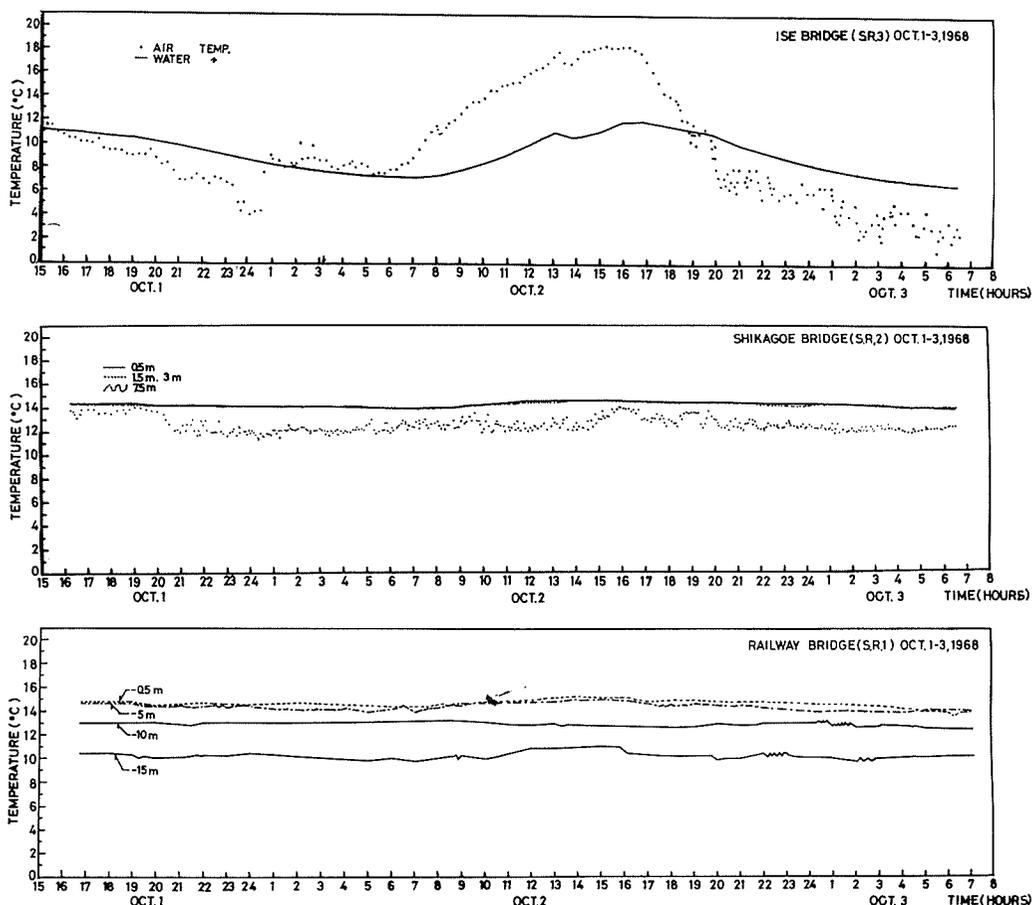


図7 伊勢橋，鹿越大橋，鉄橋における水温日変化

線は水平に近くなっている。

次にダム貯水池の水温日変化の一例について述べる。測定は伊勢橋，鹿越大橋，鉄橋に装置した自記記録計によるもので，この測定によって流入河川の日変化がどの程度の範囲に影響をおよぼすか知ることができる。測定期間は1968年9月19日より同年10月3日までであった。

図7は1968年10月1～3日における水温変化の記録である。測定時は昼夜の気温変化が大きい時期であるため流入河川の水温変化も大きく，最高最低温度差は約 $5^{\circ}\text{C}$ であったが湖水の水温日変化は極めて小さく，最高最低温度差が約 $0.5^{\circ}\text{C}$ であった。しかし，鹿越大橋地点では，深度7.5mの水温が $2^{\circ}\text{C}$ 近く変動しており，これは低温な流入水が底部に潜入し密度流となっていることを示すものとおもわれる。鉄橋の地点では深度5m及び15mの水温変化に表層よりやや大きい変動が見られるが，これが流入河川の影響によるものかどうかは検討を要することである。

#### 4. 結 言

以上の観測結果から11月末からはじまる湖水の大循環によって，同時季の凍結のはじまる頃に温度成層は最も不安定となり，成層状態は夏季型から冬季型に移行する。しかし4月はじめの解氷期には再び等温線が傾斜して冬季型から夏季型への転移がはじまる。

水温鉛直分布はダムサイト近くでは水位変動が大きいにもかかわらず通常の自然湖沼と同様な年変化を示すが、Sta. 4, Sta. 6 附近では狭さく部なので水の交流がよくないため、上流部程流入水の影響が大きく、上流部と下流部の水温は季節によって逆転する。流入河川の水温日変化の較差が  $5^{\circ}\text{C}$  でも湖面では  $0.5^{\circ}\text{C}$  程度で極めて小さいが鹿越大橋では低温な流入水が底部に潜入するため、深度 7.5 m で約  $2^{\circ}\text{C}$  の不規則な水温日変化が観測された。

## 謝 辞

本観測にあたり助力を受けた理学第一講座、高橋助教授、長岡助手、大川原技官、ならびに一方ならぬ御協力をいただいた金山ダム管理事務所に対し厚く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 例えば、吉川秀夫、山本晃一：貯水池の水の挙動に関する研究，土木学会論文報告集，第 186 号，昭46. 2, p. 39.
- 2) 福島久雄，八鍬 功，高橋 将，大谷守正：金山ダム貯水池にまける物質移動および水温変化の観測，石狩川の流出解析と流砂に関する研究，北大，IHD 研究グループ 1968, p. 238.
- 3) 福島久雄，八鍬 功，高橋 将，大谷守正：金山ダム貯水池における密度流の観測，石狩川の流出解析と流砂に関する研究，北大，IHD 研究グループ 1969, p. 209.
- 4) Hisao FUKUSHIMA, Isao YAKUWA, Susumu TAKAHASHI and Morimasa OHTANI: "Thermal Stratification in the Kanayama Dam Reservoir", Annual Report of I. H. D., Vol. 2, 1969, p. 149.