

### 山間地域の人造湖における水温特性および濁度からみた密度流について

INOUE, Muneo / 井上, 奉生

---

(出版者 / Publisher)

法政大学地理学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

JOURNAL of THE GEOGRAPHICAL SOCIETY OF HOSEI UNIVERSITY / 法政地理

(巻 / Volume)

26

(開始ページ / Start Page)

33

(終了ページ / End Page)

42

(発行年 / Year)

1997-09-30

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00025894>

# 山間地域の人造湖における水温特性および濁度からみた密度流について

井 上 奉 生

- I はじめに
- II 調査方法

- III 観測結果
- IV 考察
- V まとめ

## I はじめに

人為活動が比較的緩慢と考えられてきた河川上流域にも近年は人為の影響が現れてきた。具体的には山間地域に築造された人造湖にも上流域での

森林伐採、林道工事、牧場等の造成により、無機物、有機物等の流入増加がみられてきたことである。調査対象地域である森吉ダムもこの例にもれない。

本研究はこれらの現象に対して人造湖の水温・濁度を中心に季節的な水温特性および密度流の形

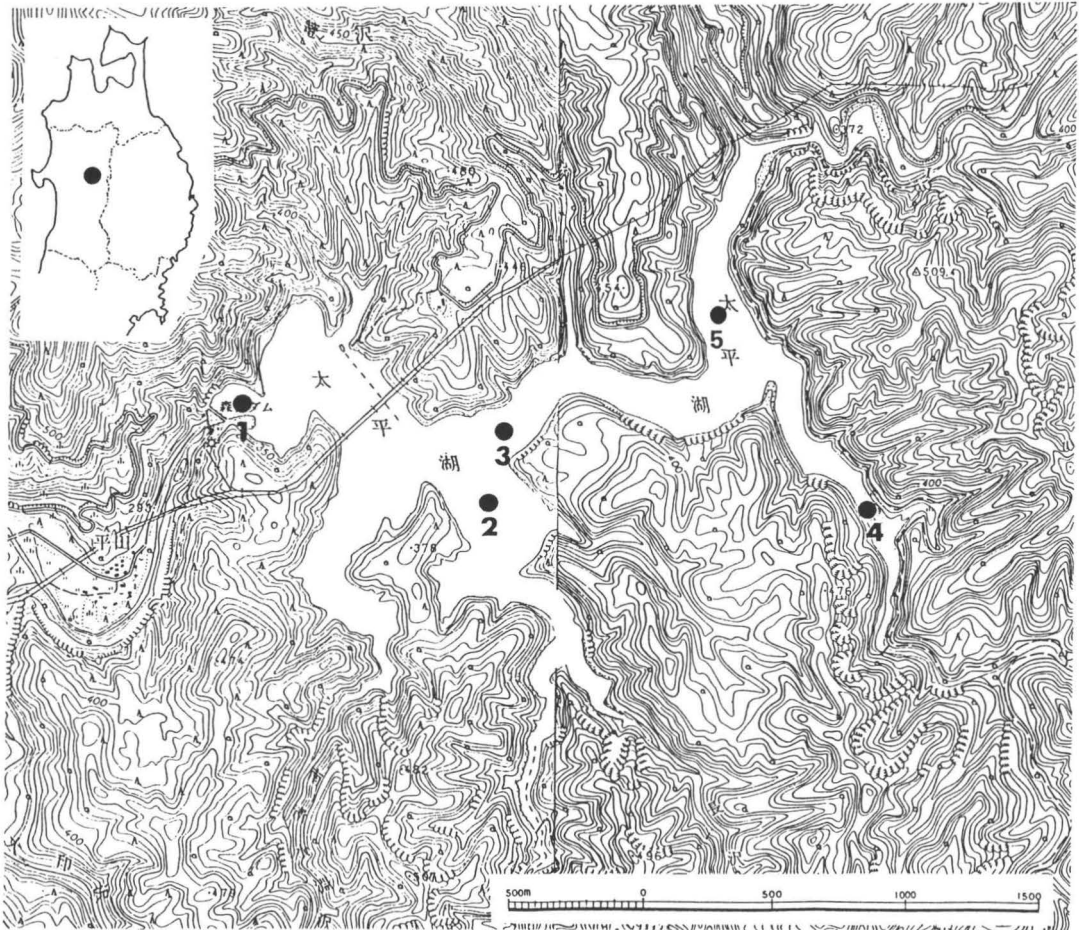


図1. 森吉ダムにおける調査観測位置図

成を把握しようとするものである。

## II 調査方法

### II-1 調査対象地域

秋田県北秋田郡森吉町を貫流する阿仁川(米代川流域)の支流、小又川上流に位置する森吉ダム(北緯40度、ダム満水位標高350m、取水口標高320m、発電用)を対象とした。調査位置はダムサイトを含めてSt.1~St.5の5地点である(図1)。

II-2 調査期間 1992年8月11日, 22日, 26日, 9月3日, 9日, 16日, 24日, 30日, 10月8日, 14日, 21日, 1993年7月31日, 8月12日, 27日, 9月8日, 22日の計16日間にわたって実施した。

### II-3 調査項目

調査項目は水温および濁度で各地点とも1m間隔で鉛直的に観測した(U.C-61型, セントラル科学製)。なお, 参考資料として1992年8月11日にダムサイトにおいて鉛直的な水質( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,

$\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )を採水分析した(表1)。その他, 降水量および気温については三菱マテリアル小又川第四発電所の資料を使用した(1992年6月~1993年9月)。

## III 観測結果

### III-1 降水量および気温

図2は1992年6月から1993年9月までの森吉ダムサイトにおける降水量および気温についてグラフ化したものである。

降水量: 1992年(1~12月)の総降水量は2023.8mmで月平均168.7, 最大月, 最少月はそれぞれ12月の282.8mm, 6月の70.2mmとなっている。また1993年(1~9月)は9ヶ月間であるがそれぞれ1551.3mm, 172.4mm, 289.6mm(2月), 96.2mm(3月)となっている。この地域は年降水量も比較的多く, 最大月も冬季に現れることから日本海側特有の降水形態を持つ。

また, 調査観測日の当日, 前日, 前々日の降水量を示すと次のとおりである。

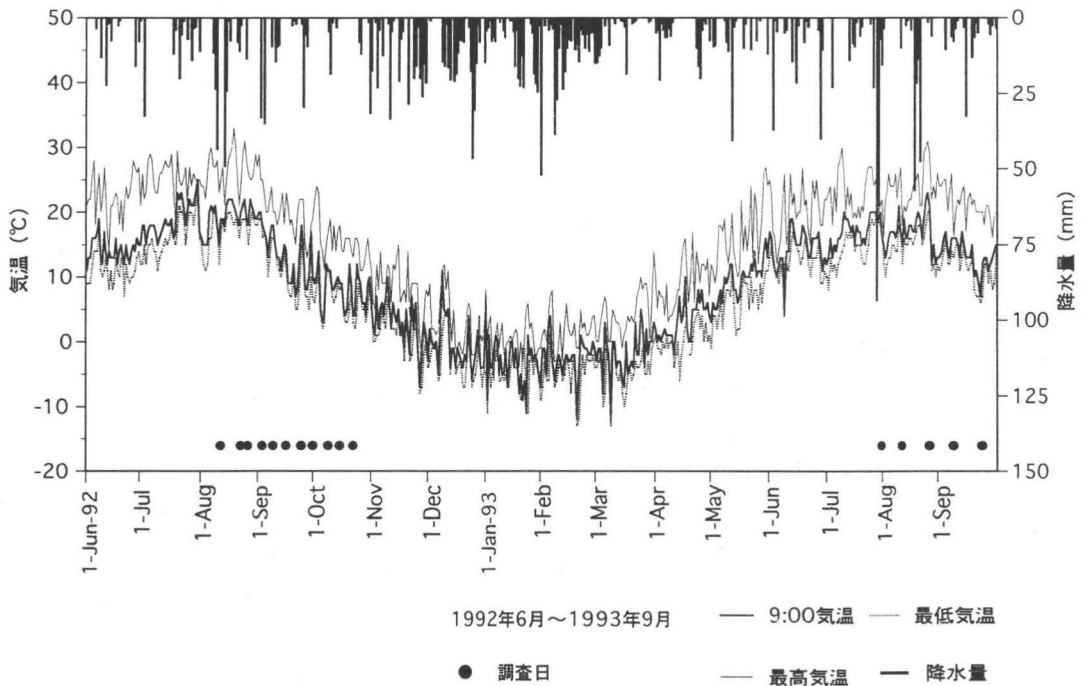


図2. 森吉ダム降水量及び気温

山間地域の人造湖における水温特性および濁度からみた密度流について

調査日	前日	前々日
92. 8.11	0mm	43.5mm
92. 8.22	11.0mm	8.0mm
92. 8.26	13.5mm	0mm
92. 9. 3	33.0mm	0mm
92. 9. 9	9.5mm	0mm
92. 9.16	0mm	0mm
92. 9.24	0mm	2.0mm
92. 9.30	0.5mm	0mm
92.10. 8	0mm	0mm
92.10.14	0mm	3.2mm
92.10.21	0mm	0mm
93. 7.31	7.0mm	62.0mm
93. 8.12	10.0mm	0mm
93. 8.27	1.5mm	0mm
93. 9. 8	6.3mm	0mm
93. 9.22	0mm	5.0mm

気温： 1992年における平均気温（毎9:00観測）は6.9℃と東北地方の各気象官署の観測値と比較すると低いが、森吉ダムの標高350mおよび

湿潤断熱減率（0.6℃/100m）を考慮すれば妥当な値と考えられる。なお、最暖月の8月、最寒月の2月のそれぞれの平均値は19.2℃、-3.9℃である。

1992年1月～1993年9月における最高気温、最低気温はそれぞれ33℃（出現日92.8.19）、-16℃（出現日92.1.25）であった。

Ⅲ-2 水温と濁度および水質

図3-1～4は森吉ダムにおける水温と濁度の鉛直分布を観測日および各測点毎に示したものである。また、表1に1992年8月11日のSt.1における鉛直的水質分析結果を示す。

水温： 一般に中間取水を行っている人造湖の変温層は2層以上発達する。このことは森吉ダムの場合にも例外なく見られ、夏季には表層付近と取水口深度付近に変温層が形成される。表層付近の変温層は第一次変温層と呼び、取水口深度付近の変温層を第二次変温層と呼ぶ。今調査期における森吉ダムにおける変温層の実態を各観測日毎のSt.1（ダムサイト）の観測値でみると次のよう

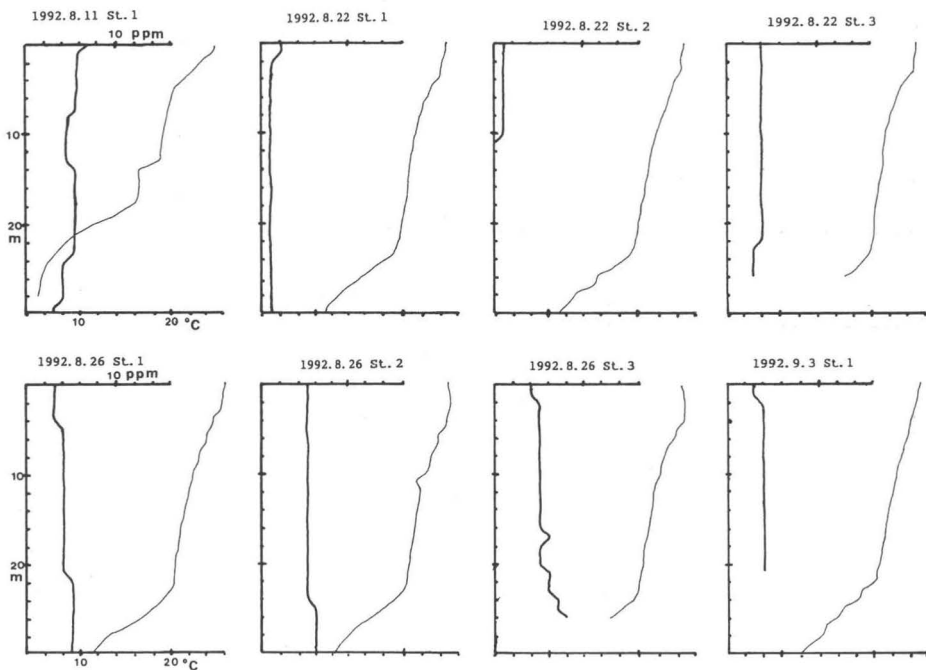


図3-1 森吉ダムにおける水温と濁度の垂直分布

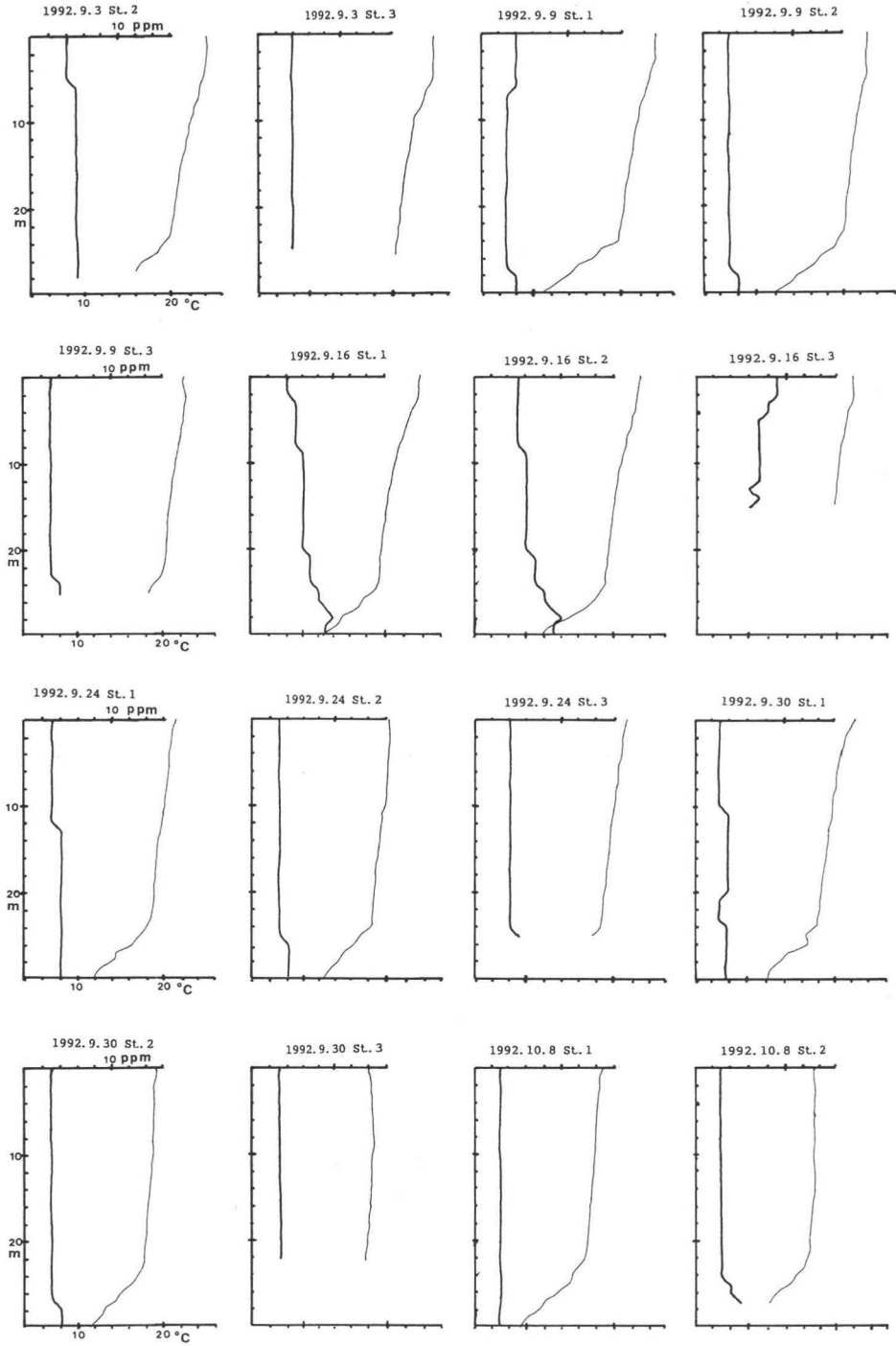


图 3-2

山間地域の人造湖における水温特性および濁度からみた密度流について

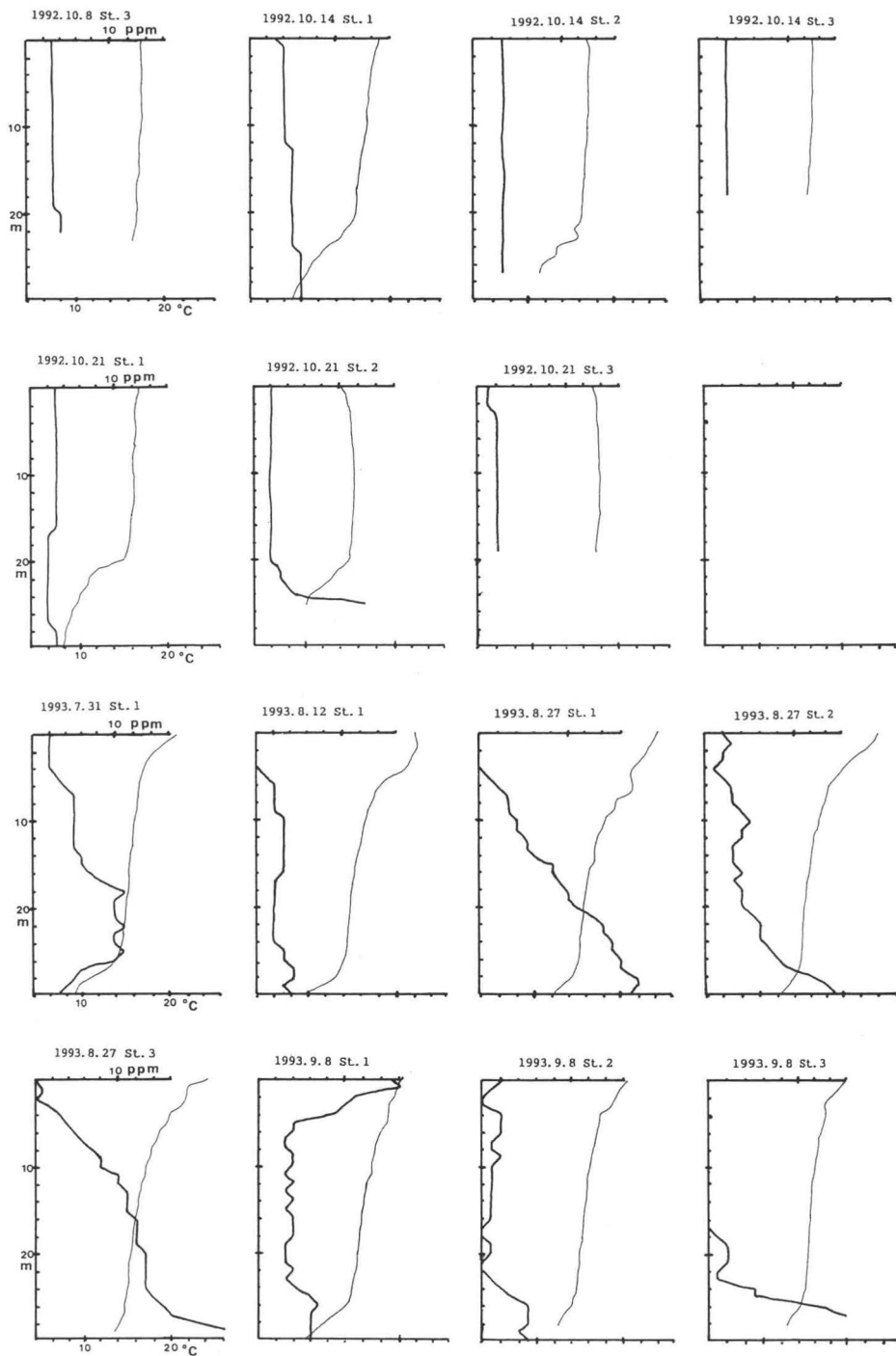


図 3-3

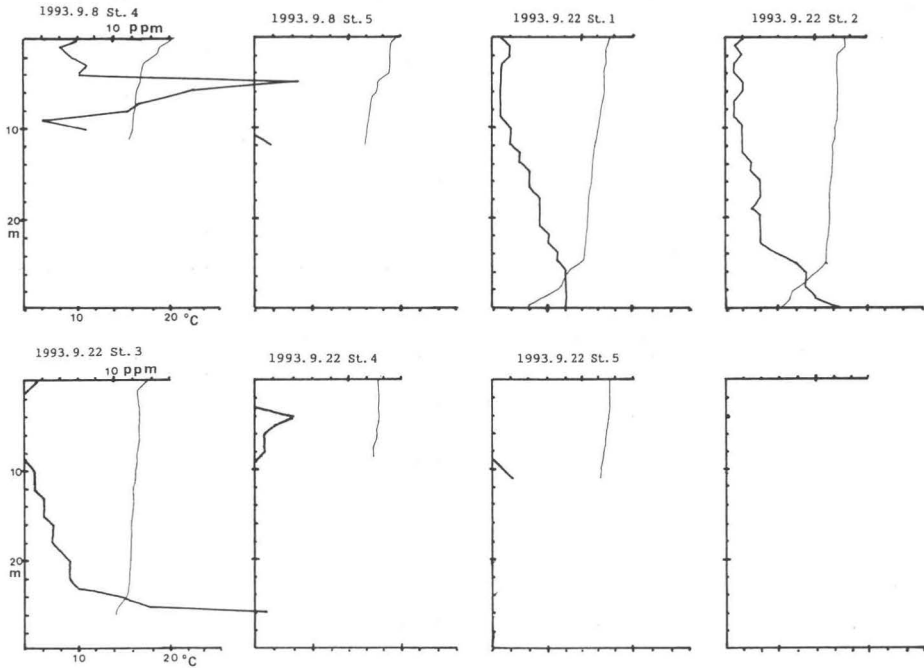


図3-4

である。

1992年8月11日

第一次変温層 2m～5m 温度差3.2度  
第二次変温層 19m～24m 7.3度

当日はこの他に13m～14mの間に温度差2.3度の変温層が出現している。

1992年8月22日

第一次変温層 4m～7m 温度差1.8度  
第二次変温層 24m～27m 3.9度

1992年8月26日

第一次変温層 5m～8m 温度差1.5度  
第二次変温層 23m～27m 4.6度

1992年9月3日

第一次変温層 5m～9m 温度差1.2度  
第二次変温層 22m～27m 5.7度

1992年9月9日

第一次変温層 5m～10m 温度差1.5度  
第二次変温層 22m～27m 5.0度

1992年9月16日

第一次変温層 3m～8m 温度差1.8度

第二次変温層 25m～28m 3.9度

1992年9月24日

第一次変温層 不明瞭  
第二次変温層 24m～27m 温度差3.6度

1992年9月30日

第一次変温層 1m～4m 温度差1.3度  
第二次変温層 24m～27m 3.2度

1992年10月8日

第一次変温層 不明瞭  
第二次変温層 24m～27m 温度差3.2度

1992年10月14日

第一次変温層 不明瞭  
第二次変温層 22m～26m 温度差3.8度

1992年10月21日

第一次変温層 不明瞭  
第二次変温層 20m～26m 温度差5.7度

ただし、10月14日、21日におけるSt.2およびSt.3は表面水が冷却されており、若干の逆転現象がみられる。

1993年7月31日

山間地域の人造湖における水温特性および濁度からみた密度流について

第一次変温層 1m～5m 温度差 2.6度  
第二次変温層 26m～29m 4.6度

1993年8月12日

第一次変温層 2m～7m 温度差 4.8度  
第二次変温層 26m～30m 4.6度

1993年8月27日

第一次変温層 1m～5m 温度差 2.8度  
第二次変温層 7m～8m 1.7度  
第三次変温層 27m～30m 2.6度

8月27日における表水層水温には2層にわたり変温層がみられる。これは当日の降雨が関係していると思われるが、定かではない。

1993年9月8日

第一次変温層 1m～3m 温度差 0.8度  
第二次変温層 26m～30m 4.6度

1993年9月22日

第一次変温層 不明瞭  
第二次変温層 25m～30m 温度差 6.1度

今調査の観測時期は1992年および1993年の両年ともそれぞれ8月から10月、7月から9月であり、夏季の水温成層形成時期である。すなわち、7月中旬より8月中・下旬までは湖水が全体的に昇温するが、森吉ダムでは中間取水のため、取水口敷(320m)付近に第二次変温層が形成され、それ以深の水温変化は小さい。8月下旬から9月初旬にかけては、表水層も第一次変温層と第二次変温層の間の水層も安定した成層を示し、正列成層を呈する。9月中旬から10月中・下旬には表水層が次第に冷却され、第一次変温層が不明瞭になると同時に逆転する場合もみられる。

濁度：湖沼における“濁り”の起源には陸上から運搬される粘土性物質や有機性物質、湖水中のプランクトンおよび微生物、化学反応による沈殿物、様々な沈殿物の舞い上がり等々が考えられる。また、その測定方法にもいろいろあるが、ここでは濁度(ppm)として測定した(U C-61型、セントラル科学製)。

今回の調査期全般における濁度の鉛直分布は次のとおりである。

1992年8月11日のSt.1の値は6～4ppmの間にあり、濃度も若干高い。これは前日および前々

日の降雨量に関係しているものと思われる。またその濃度も変温層に比較的良好に対応している。8月22日から10月21日までの各測点における値をみると、1ppm～7ppmの間にあり総じて表面に近い部分で小さく深部で大きい値を示している。また、鉛直変化は極めて小さい。最大値が観測された日は9月16日の4ppm～7ppmであり、他の観測日はそれ以下の値を示した。

1993年7月31日から9月22日の各測点における値は前年(1992年)に比較して、その鉛直変化は大きい。7月31日の濁度は2ppm(表面)から10ppm～11ppm(水深18m～26m)の範囲にあるが27m以深では6ppm～3ppm(水深30m)と減少する。しかし、水温変温層との対応は必ずしも明瞭ではない。これと同様なパターンを示しているのが9月8日のSt.4の鉛直分布であるが、これは当日の降水量(6.3mm)および測点位置からみて流入河川の影響を強く受けたものと思われる。他の観測日における値は各観測点とも前年(1992年)と同様なパターンを示している。すなわち、表層で小さく、深層部で大きな値を示している。

以上、両年の濁度の鉛直分布をみると一部を除き水温鉛直分布に対応する明瞭な密度流成層は存在しない。濁度の場合には粒径、重量等による沈降速度の相違による土壌起源物質の流入、植物プランクトンの遺骸や底泥の湖底からの舞い上がり等、水温密度流とは別の機構が深く関与している可能性は高い。

水質：1992年8月11日のSt.1における鉛直的水質分析結果は表1のとおりである。Cl<sup>-</sup>やNa<sup>+</sup>が多くSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>も比較的多いことから、その起源は海塩由来と思われる。Ca<sup>2+</sup>も比較的多いが、これはK<sup>+</sup>やMg<sup>2+</sup>を含めて河川を通じて湖内に流入した土壌成分からのものであろう。鉛直分布をみると、湖底で全項目とも高濃度を示すが、これは底泥等の舞い上がりと思われる。水深14mおよび25mでも高濃度を示すが、この深度は水温の変温層に対応している。すなわち、この時期に限っては溶存成分と密度流との関係が明瞭であった。



	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
0	1.87	0.39	1.91	0.45	2.80	検出せず	0.84
14	4.48	0.89	2.09	0.85	4.96	検出せず	2.25
19	2.72	0.55	2.06	0.59	3.14	検出せず	1.07
25	2.96	0.55	1.28	0.56	4.00	検出せず	1.65
38.8	6.06	1.62	5.78	2.01	6.41	検出せず	0.95

cation は原子吸光, anion はイオンクロマト

表1. St. 1 における垂直的水質分析結果

(1992. 8. 11)

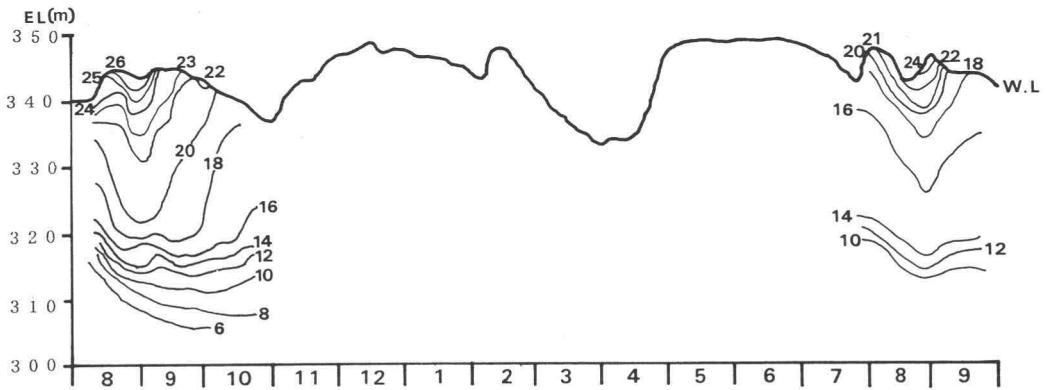


図4. 森吉ダム水温イソプレット (1992. 8~1993. 9)

#### IV 考察

##### IV-1 森吉ダムにおける水温特性

前述したように(Ⅲ-2)一般に中間取水を行っている人造湖の変温層は2層以上発達する。これは森吉ダムにも例外なくみられ、夏期になると表層付近と取水口敷付近に2層の変温層が形成される。表層付近の変温層は自然湖沼のそれと同一の性格のもので、水面から水中への鉛直方向の熱輸送の不連続によって生ずるものである。

図4に今回観測した St.1 における水温イソプレットを示す(単位℃)。観測時期は1992年および1993年の両年もそれぞれ8月から10月、7月から9月であり、夏季の水温成層形成時期であるため、表層付近と取水口敷付近(EL320m)に2層の変温層が形成されているのがわかる。取水口敷付近より上部の水がピストンフローにより放水

され、それより深層は水の流動は小さくなり、二次変温層として不連続層が形成されるものと思われる。

季節変化把握するために図5に筆者等が1977年に観測した同じく St.1 の値を示す。

まず、水位であるが極めて大きいことが自然湖沼と相違する点である。これは発電用貯水池であるため定常的に取水していることと関係する。とくに、2月から4月の上流域の融雪期以前では大きく下がる。

貯水池水温の循環機構をみると次のようである。まず、1月から3月頃(結氷期)までは冬季停滞期であり、4月中旬には全層4℃の春季全循環期となる。その後8月下旬までの半停滞期には表層から次第に昇温し、変温層も同時に形成されていく。森吉ダムでは中間取水のため、取水口敷以深では水温変化が小さいが、イソプレットでみる16~18℃の等温線が最も深層まで達するのが9月

山間地域の人造湖における水温特性および濁度からみた密度流について

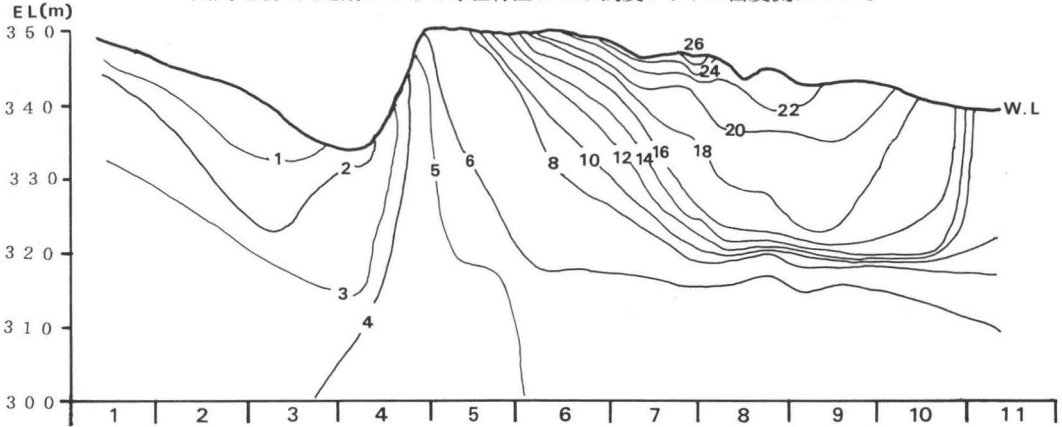


図5. 森吉ダム水温イソプレット (1997. 1~11)

上旬から9月中旬頃であることから、この時期が夏季完全停滞期と思われる。9月中旬から10月下旬までは部分循環期で表層から次第に冷却が始まる。11月以降は取水口敷以浅でも降温し、全層が4℃近くの等温になるものと思われる（全循環期）。このように森吉ダムでは年2回循環する温帯湖の一般的变化を示す。

#### IV-2 森吉ダムにおける密度流について

密度流の発生原因となるものは、流入水温と貯水池水温との差が一般的であるが、溶存・懸濁物質による密度差もその原因となる。そして、これらの水がかなりの速度を保ち、著しく拡散混合せずに層流を形成して特定の層に流入する。

一般に貯水池では、密度流が形成される場合が多いが、次のようなパターンが考えられる。まず第一には密度流が流入点から流出点（放水口）まで明瞭な連続した流れとして確認可能な場合、第二は不明瞭であり、かつ不連続の場合である。流入量が十分に多い場合、または流入点から流出点（放水口）までの距離が短い場合には密度流は連続して保持するのが第一の場合である。一方、流入量が少なく、かつその距離が長い場合には一般的な湖流あるいは拡散過程のなかに吸収され、連続した流れは形成しないのが第二の場合である。

森吉ダムにおける密度流は前述したように、貯水量に対して流入量が小さいために流入水は貯水池に流入直後、拡散混合が強く密度流の形成はされにくいものと思われる。しかし、1993年の各観測時には濁度の鉛直分布からみて、その兆候がみ

られた。とくに流入河川に近い St.4 で顕著である。ただし貯水池中央まで連続する追跡観測は実施していないので拡散混合の位置および水深については定かではない。

## V まとめ

今回の調査結果をまとめると次のようである。

### ① 変温層について

森吉ダムにおける変温層の形成は貯水量に対して流入量が小さいことによる。第二次変温層は取水口の位置に影響されている。

### ② 貯水池水温の循環機構について

1月から3月頃（結氷期）までは冬季停滞期であり、4月中旬には全層4℃の春季全循環期となる。その後8月下旬までの半停滞期には表層から次第に升温し、変温層も同時に形成されていく。森吉ダムでは中間取水のため、取水口敷以深では水温変化が小さいが、16~18℃の等温線が最も深層まで達するのが9月上旬から9月中旬頃であることから、この時期が夏季完全停滞期と思われる。9月中旬から10月下旬までは部分循環期で表層から次第に冷却が始まる。11月以降は取水口敷以浅でも降温し、全層が4℃近くの等温になるものと思われる（全循環期）。このように森吉ダムでは年2回循環する温帯湖の一般的变化を示す。

### ③ 密度流について

森吉ダムにおける密度流は、貯水量に対して流入量が小さいために流入水は貯水池に流入直後、

拡散混合が強く密度流の形成はされにくいものと思われる。しかし、1993年の各観測時には濁度の鉛直分布からみて、その兆候がみられた。とくに流入河川に近い St.4 で顕著である。

以上であるが、次のような課題が残る。

① 熱収支計算を実施するには、貯水池の形態・容量、気象要素（気温、風向・風速、日射量、蒸発量、降水量等）、流入水温、流入量、放流水温、放流量等の継続的な観測が必要である（とくに、夏季水温成層時の場合について）。

② 密度流の存在の有無を把握するには、融雪期および降水時（洪水時）における流入河川から貯水池中央、ダムサイトに至るまでの水温、濁度の連続観測が必要である。

本調査研究を実施するにあたって、現地観測に便宜をはかって頂いた、三菱マテリアル小又川第四発電所の皆様に心からお礼申し上げます。

（この調査研究の一部に平成5年度法政大学特別研究助成金を使用した）