



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	貯水池における密度成層に関する研究（第2報）：懸濁物質，溶解物質が密度成層におよぼす影響
Author(s)	大谷, 守正; Ohtani, Morimasa; 八鍬, 功 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 99, 67-77
Issue Date	1980-08-11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41626
Type	departmental bulletin paper
File Information	99_67-78.pdf



貯水池における密度成層に関する研究 (第2報)

— 懸濁物質, 溶解物質が密度成層におよぼす影響 —

大谷 守正* 八 鍬 功*

(昭和55年3月31日受理)

Studies on the Density Stratification in Reservoirs (2)

— Influence of Suspended Solids and Dissolved Matters
upon Density Stratification in a Reservoir —

Morimasa OHTANI Isao YAKUWA

(Received March 31, 1980)

Abstract

Profiles of turbidity and temperature in the Katsurazawa Dam Reservoir show several interesting features. In order to investigate the patterns of density stratification, a series of hydrological and chemical observations were carried out from October, 1969 to November, 1971. Four stations were set up in such a way that the whole reservoir area would be covered and where, once or twice a month, vertical distributions of water temperature, turbidity, suspended solids and dissolved matters were measured.

According to the observed results, density stratification was stable in every season when the influence of suspended solids and dissolved matters were considered.

1. 緒 言

水深の深いダム貯水池においては夏季に水温成層が形成され、表層付近に水温の高い表水層、その下に水温が急激に低下する変温層、さらに変温層の下には水深とともに水温が徐々に低下する深水層が存在する。一方冬季には表面からの冷却のため表面付近は 0°C になり結氷する。しかし深層には 4°C 以上の水塊が残され逆列成層が形成される。この様に毎年夏季、冬季の2回安定な成層がつくられその交代期には湖内の大循環により全層が一様水温になる期間が存在する。これらの事実について筆者等は金山ダム貯水池においてサーミスター水温計を用い年間を通じて貯水池内数点において水温を観測し水温鉛直分布の年変化の微細な構造を明らかにし、また躍層内の内部波等についても興味ある結果を得た^{1),2),3)}。しかし流入、流出水の多い貯水池や高濃度の懸濁物質や溶解成分を含む水が流入する貯水池では複雑な成層構造が考えられる。融雪期や増水時における流入水は多量の懸濁物質を含み、貯水池の成層過程に影響をおよぼし、また流入水は貯水池上流部より土砂を運搬し、貯水池の濁水化をはじめとし、堆砂、背砂等の問題をもひきおこす。最近では貯水池の濁水化の影響は農工業用水のみならず、底生動物や魚類にまで及び社会問題化しつつあり、貯水池の詳細な密度特性の観測は今後の多目的ダム貯水池における適確な水

* 理学第一講座

温、濁度の予測をはじめとした利水目的に欠くことのできないことであり重要な役割を果たすものと思われる。これらのことから濁りの大きい貯水池では密度流を論じる場合には懸濁物質、溶解物質による密度変化を考慮しなければならない。

本報告では濁りの大きいことで知られる桂沢ダム貯水池に注目し年間を通じて水温鉛直分布と透光度鉛直分布を観測し、合せて懸濁物質、溶解物質を測定して懸濁物質、溶解物質が湖水密度に与える影響を考察した。桂沢ダム貯水池(図-1)には本流幾春別川の他に大小5つの支流が流入し、湖水面は複雑な形をしている。この流域の地質は大部分が中世代白亜系であり、ほとんど砂岩、シルト岩、泥岩および凝灰岩から成り立っており、このため流域の受蝕性が大きく、融雪期や増水時には多量の土砂が流入し貯水池の濁度は年間を通じて他の貯水池に比べて極めて大きい。桂沢ダム貯水池の諸元を表-1に示す。

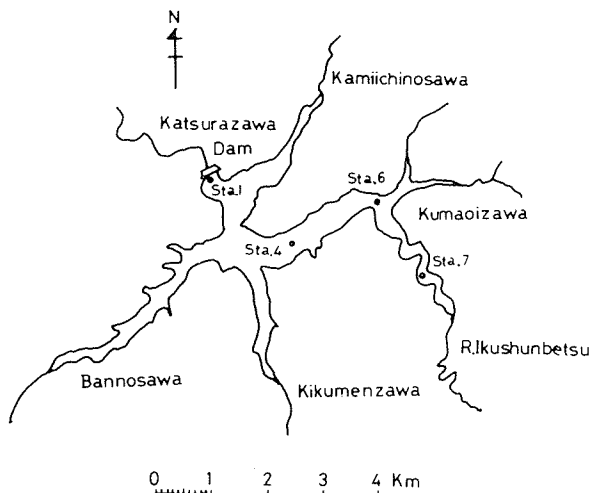


図-1 桂沢ダム貯水池平面図

表-1 桂沢ダム貯水池諸元

河川名	幾春別川
流域面積	151.20 km ²
湛水面積	4,990,000 m ²
総貯水量	92,700,000 m ³
有効貯水量	81,800,000 m ³
満水位標高	187.00 m
利用水深	29.00 m
河床標高	125.00 m
調査能力	最大洪水量 550 m ³ /sec を 70 m ³ /sec に調節する

2. 観測方法

観測は毎月平均一回の割合で図-1に示す桂沢ダム貯水池内の堤体から50~100mの幾春別川のものと同流心付近(Sta. 1)で水温、濁度の測定を行い同時に湖水を採水し研究室に持ち帰り化学分析を行った。

水温、濁度の測定は次の方法によった。水温測定はサーミスター水温計により0.01°Cまで読み取り、濁度は光電池を用いた光学式透光度計を用いた。その原理は次のとおりである。

懸濁水を通過する平行光線は懸濁物質、溶解物質そして媒体である水による吸収と散乱を受けて、いわゆるランバート、ベールの法則にしたがった減衰をする。平行透過光の受光面における強さ I は

$$I = I_0 \exp(-kz) \quad (1)$$

で表わされる、ここに

I_0 : 入射光の強さ

k : 減衰係数 (cm⁻¹)

z : 光路長 (cm)

である。減衰係数は水、懸濁物質、溶解物質などによる減衰係数に分けられるが、通常濁りを支配するのは懸濁物質による散乱、すなわち懸濁物質の断面積による遮蔽効果と考えられる。

図-2は濁度の測定に用いた透光度計およびそのブロックダイアグラムを示したものである。図中Bは光源部でAは受光部である。光源から出た光はレンズによって平行光線となり、スリットSを通過して光電池Pに到達する。光源および光電池には60mのコードがついており船上から透光度計を任意の深度に下げれば、ガラス面C₂、C₁間の池水の濁度によって光の減衰の度合いが異なるので船上で光電流を測定することにより、その深度における透光度がわかる。いま清澄水の場合の光電流をI₀、測定時の光電流をIとすれば(1)式から

$$\frac{I}{I_0} = e^{-kl}$$

なる関係式が成立つ。ここでlはガラス面C₂、C₁間の距離即ち光源からの光が湖水を通過した長さで観測期間中l=6.0cmとした。図および表中の透光度の値はIとI₀の比を%で表示したものである。

濁りの大きい貯水池水では水温による密度の他に懸濁物質、溶解物質による密度を求めなければならぬ。

いま、懸濁物質を含む濁水の密度は次式で示される。

$$\rho' = \rho \left[1 + \frac{c}{1000} \cdot \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_s} \right) \right]$$

ここに

ρ' : 濁水の密度 (gr/cm³)

ρ : 水の密度 (gr/cm³)

ρ_s : 懸濁物質の密度 (gr/cm³)

c: 濁水 1 ℓ 中の懸濁物質質量 (gr/ℓ)

である。

ここで懸濁物質質量(c)の測定はJIS, KO101の15の5の方法に準拠し、メンブランフィルター0.45μに残留する量を蒸発乾固しその重量を求めた。懸濁物質の密度(ρ_s)は懸濁物質測定の際に生ずる懸濁物質を集め、比重ビンにて測定した。その結果平均値として2.66 gr/cm³を得た。

溶解物質による湖水の密度は懸濁物質質量測定後の湖水、すなわちメンブランフィルター0.45μを通過した湖水を、JIS, KO101の15の2の方法により全蒸発させ、その重量をはかり単位体積あたりの重量を求めた。

懸濁物質、溶解物質の区分は濁質粒子の粒径が0.45μのフィルターを境に0.45μ以上を懸濁物質、0.45μ未満を溶解物質とみなした。

湖水の密度は上記の方法により懸濁物質を含む湖水の密度と溶解物質による湖水の密度の和として算出される。

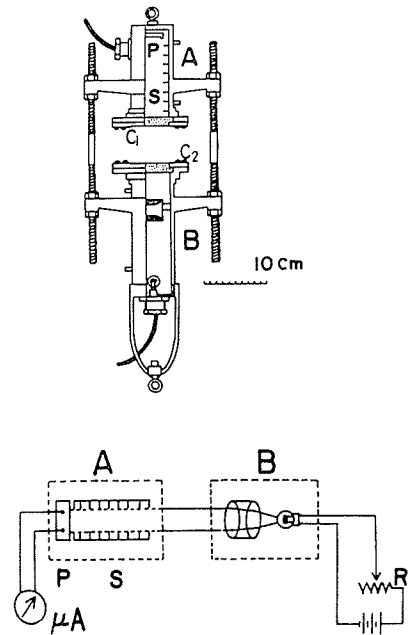


図-2 透光度計及びそのブロックダイアグラム

3. 水温、透光度鉛直分布の季節変化

観測は1969年10月から開始した。観測当日の天候、貯水位（ダム管理事務所の観測による）と主な深度における水温、透光度を表-2に示す。図-3はSta. 1における水温年変化を示す図である。これより等温線の密なる時季、つまり温度躍層が形成される時季は5月中旬から8月下旬までで、その後表面水温より気温の方が低くなり、表面近くから対流により徐々に循環を始め12月初めには循環層厚は底層近くまで厚くなっている。底層水温は1969年10月上旬から1970年

表-2 貯水位及び主な深度における水温、透光度

観測月日	天候	貯水位 (m)	深 度									
			0 (m)		5 (m)		10 (m)		15 (m)		20 (m)	
			水温 (°C)	透光度 (%)	水温 (°C)	透光度 (%)	水温 (°C)	透光度 (%)	水温 (°C)	透光度 (%)	水温 (°C)	透光度 (%)
(1) 1969年10月22日	雨	185.08	11.09	67.2	11.00	66.3	10.94	66.4	9.75	—	9.47	—
(2) 11月7日	晴	185.22	9.01	81.5	8.73	74.0	8.71	73.8	8.69	73.1	8.30	59.5
(3) 11月24日	曇	185.34	6.87	82.8	6.58	76.8	6.58	76.3	6.55	75.1	6.52	73.5
(4) 12月5日	曇	185.75	4.78	71.0	4.80	67.2	4.80	66.2	4.80	65.7	4.80	65.2
(5) 12月19日	雪	185.87	0.10	24.1	2.30	70.3	2.75	70.0	2.82	69.1	3.00	71.0
(6) 1970年1月21日	曇	181.02	0.00	100	1.55	89.4	2.46	84.9	2.90	83.8	3.24	84.6
(7) 2月19日	曇	174.91	0.00	100	0.90	99.2	2.16	94.4	2.83	92.4	3.35	93.0
(8) 3月10日	雪	169.15	0.00	99.8	0.55	96.3	1.80	96.0	2.80	93.8	3.01	92.4
(9) 3月24日	曇	162.90	0.00	95.5	0.70	76.1	2.34	87.0	3.70	75.5	5.40	7.3
(10) 4月6日	晴	160.31	0.00	77.0	0.26	10.9	2.14	25.0	3.90	16.0	4.08	13.2
(11) 4月30日	晴	178.69	4.25	60.0	3.14	3.9	2.57	1.0	3.07	0.8	3.40	0.4
(12) 5月7日	曇	184.68	8.90	39.0	5.12	13.5	3.15	2.1	3.60	1.1	3.85	0.7
(13) 5月22日	曇	186.53	9.25	—	6.91	—	5.64	—	4.68	—	4.22	—
(14) 6月3日	晴	185.92	13.60	55.5	8.58	38.0	6.12	16.0	4.82	2.3	4.45	1.0
(15) 6月19日	曇後雨	183.16	17.82	91.2	9.20	65.0	5.60	8.3	4.70	2.0	4.48	1.0
(16) 7月16日	晴	177.44	20.00	82.2	6.82	14.0	5.00	2.7	4.67	1.4	4.78	0.9
(17) 7月31日	曇	173.31	24.30	70.5	6.40	8.8	4.92	2.1	4.85	1.0	4.80	0.7
(18) 8月24日	曇後雨	166.99	23.22	16.2	9.00	2.1	5.11	1.1	4.83	0.8	4.74	0.5
(19) 9月11日	晴	172.46	18.8	21.0	17.50	4.1	13.20	1.0	6.70	0.8	7.80	0.2
(20) 9月25日	曇	174.49	18.40	46.0	16.05	17.2	14.00	5.2	9.45	1.1	7.08	0.8
(21) 10月2日	曇後雨	175.26	14.80	26.1	14.80	20.6	13.60	7.8	12.70	3.0	7.05	0.8
(22) 10月9日	曇	175.89	15.10	29.4	14.5	28.4	12.8	12.7	11.80	23.7	7.10	1.0
(23) 10月23日	小 雨	175.97	12.40	38.2	12.20	36.6	12.16	35.5	11.50	30.0	8.20	1.2
(24) 11月6日	小 雨	184.03	9.13	25.5	9.07	20.4	8.97	20.5	8.45	3.0	7.73	5.5
(25) 11月20日	曇	185.73	6.78	—	6.78	—	6.78	—	6.70	—	6.24	—
(26) 12月8日	晴	185.27	4.09	—	4.16	—	4.19	—	4.18	—	4.18	—
(27) 1971年5月27日	曇	186.69	12.65	67.0	11.35	57.5	6.85	39.8	5.91	40.8	5.14	38.0
(28) 7月16日	小 雨	176.22	20.73	—	7.27	—	5.83	—	5.28	—	5.11	—
(29) 8月5日	曇	174.46	25.0	79.4	9.05	43.0	5.78	29.7	5.29	21.4	5.10	7.6
(30) 10月15日	快 晴	184.75	12.29	84.0	11.55	80.6	10.90	57.9	10.30	42.5	10.13	26.1
(31) 11月5日	曇	184.41	9.20	70.0	9.10	72.0	9.10	72.8	8.35	64.1	8.10	51.2

次に水温、透光度の鉛直分布の例を示しその季節的变化について述べる。図-5~図-10は1969年11月、12月、1970年2月、5月、7月、9月の水温、透光度鉛直分布の観測結果である。図中の縦軸は深度、横軸は実線が水温(°C)、破線が透光度 I/I_0 (%)をあらわしている。1969年11月24日(図-5)の例は水温年変化から見れば冷却期であり表面付近の水の混合により躍層の深さが増大するとともに平均水温が低くなる。さらに気温が低下し1969年12月5日(図-6)の例では水温鉛直分布は直線のまま温度が下がり4°Cに近づく。また表水層の厚さが厚くなるにつれて

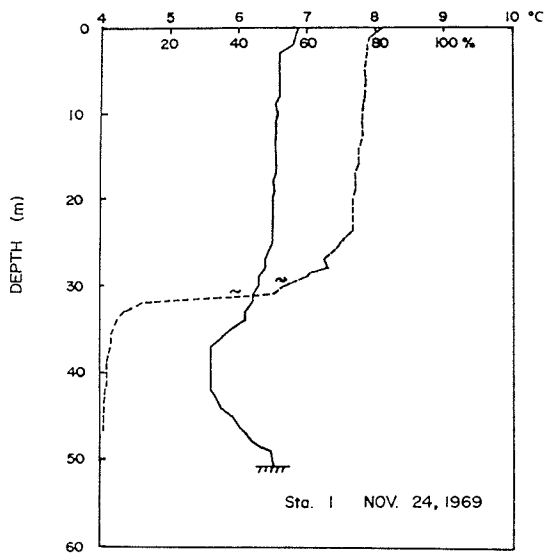


図-5 水温、透光度鉛直分布

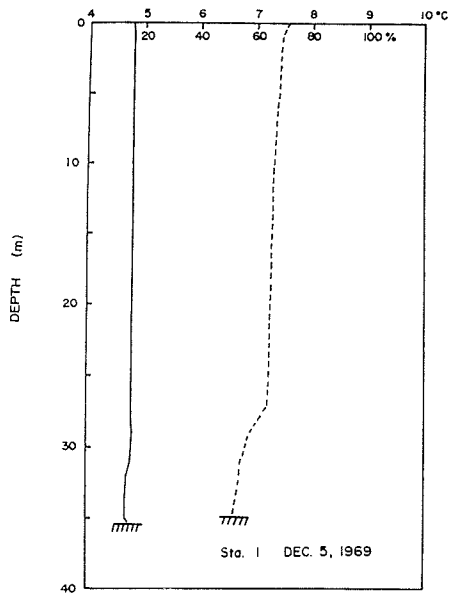


図-6 水温、透光度鉛直分布

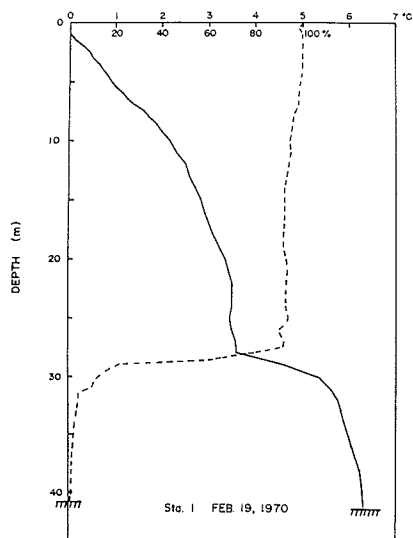


図-7 水温、透光度鉛直分布

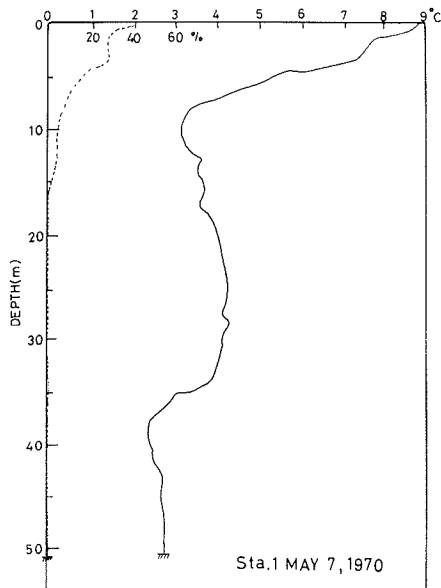


図-8 水温、透光度鉛直分布

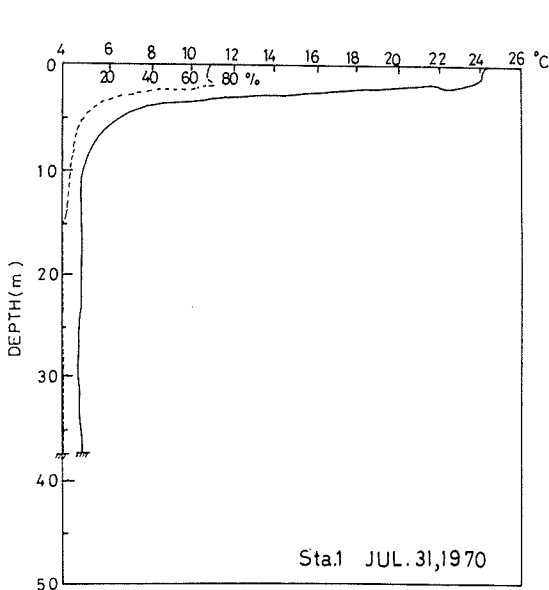


図-9 水温, 透光度鉛直分布

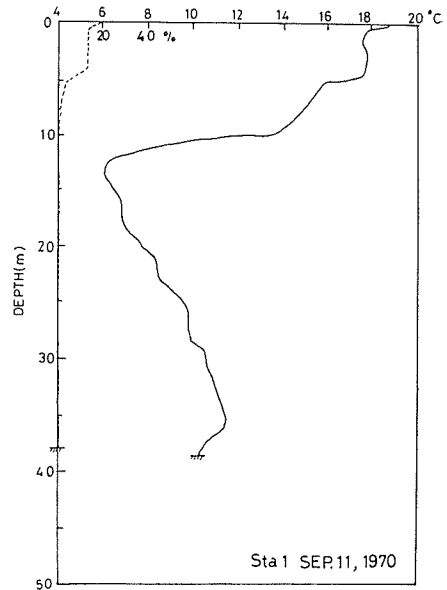


図-10 水温, 透光度鉛直分布

透光度鉛直分布にも変化があらわれる。11月は水温と透光度は同型に近いが12月に入ると並行型に変化する。冬季に入り1970年2月19日(図-7)の例では水温は表面付近は 0°C で水深が深くなるほど温度が高く底部では 6°C となる分布を示しており温度逆列成層が見られる。透光度は秋季に見られる型で水温と濁度の鉛直分布はX型に交叉する。春季に入ると温度上昇した流入水が密度成層の中層に流れ込み、まず濁度分布に変化があらわれる。さらに流入水の温度が上昇すると5月7日(図-8)の例に示すように表層水温が 9°C 近くなり、中層部では 4°C 近く底部部では $2\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ の水塊が残存していたが、これは桂沢ダム貯水池特有の現象であって底層にある密度の高い濁水のため密度成層が保たれているのである。水温分布と透光度分布は冬季のX型から並行型に移行している。7月31日(図-9)の例では表面水温はますます上昇し、躍層は急速に発達して厚さはうすくなり典型的な夏型の水温分布となる。表層水温の上昇にもかかわらず底層水温は一定である。透光度は表層が80%程度で濁りが小さいが、10m以深では2%以下で極めて懸濁物質の多い濁水であることがわかる。9月11日(図-10)の例では湖水の温度は表面から冷却されるので表層中で部分的な対流が起こり表層水温が低下すると同時に表水層の厚さが増し同時に透光度も大きくなる。なお下層の水温が 11°C に上昇しているのが注目される。

4. 懸濁物質, 溶解物質の密度分布への影響

図-11は湖水密度の年変化を示す図である。図中の数値は湖水の密度(gr/cm^3)より1を差し引いた値を記してある。図によれば年間を通じて表水層においては水温年変化図と類似した比較的良い対応を示しているが中底層部においては懸濁物質, 溶解物質の影響があらわれ等密度線は等温線と異なっていることがわかる。

先に水温, 透光度の鉛直分布の具体的な例を示したがこれに観測方法の項で記した方法により湖水密度を求め、湖水密度鉛直分布図として示したのが図-12である。図によれば1969年11月5日, 1970年7月31日の密度鉛直分布は水温の鉛直分布と比較して見ると同様な型をしている

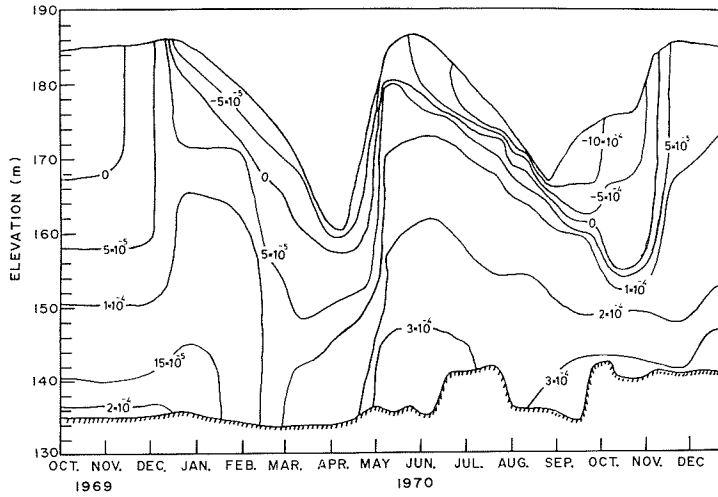


図-11 桂沢ダム貯水池における湖水密度年変化
(図中の数字に1を加えた値が密度 (g/cm^3) をあらわす)

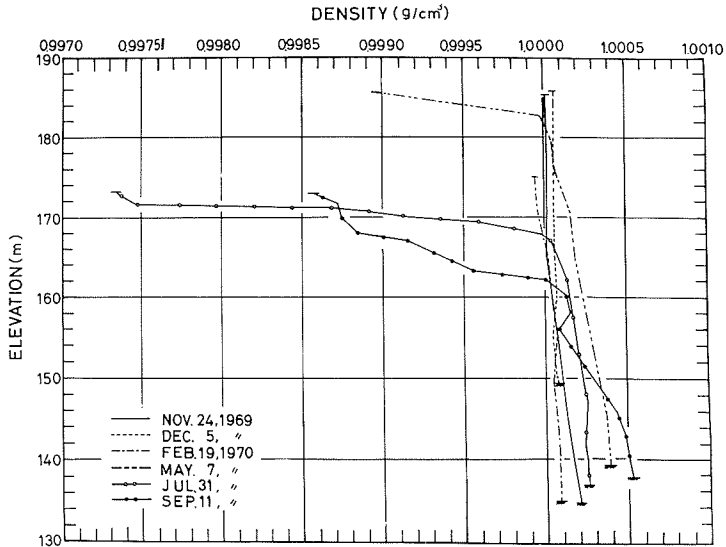


図-12 湖水密度鉛直分布

が、1969年11月24日、1970年5月7日、9月11日の水温鉛直分布では特に底層における水温の変化がいちじるしく、水温のみによる密度分布は上下逆転しているが懸濁物質、溶解物質の影響を考慮した場合には図に示すように安定した密度成層となることがわかる。また温度躍層と懸濁物質、溶解物質をも含む密度躍層とはその分布形状が異なることも注目される。

表-3は化学分析により得られた懸濁物質質量、溶解物質質量及び湖水密度である。

図-13～図-17に貯水池広域における密度鉛直分布の観測例を示す。観測の要領は前述と同様の方法を用いた。観測点は図-1に示す主に、Sta. 1, Sta. 4, Sta. 6の3点である。観測当日の水温、濁度の概況ならびに密度鉛直分布について述べると、1971年5月27日(図-13)の例では融雪水のため幾春別川は濁りがとくに目立ち各測点とも濁りが大きく、懸濁物質質量は他の観測日より多い。当時は温度成層が形成されつつある時季で各測点とも密度鉛直分布は底部に近い程大

きく安定であった。Sta. 7 では水温は他の測点より高く、流入水が表層で貯水池水と混合しているのが見られた。7月16日(図-14)の観測では降雨による増水のため幾春別川は濁っていたが各測点での懸濁物質量は5月27日に比べ少く他の観測日と同程度である。この時季には温度成層が完成し水温鉛直分布は夏季安定型であり密度分布と同様な型であった。8月5日(図-15)には

表-3 Sta. 1 における懸濁物質量, 溶解物質量, 水温及び湖水密度

測定年月日	水深(m)	懸濁物質量(g/ℓ) ×10 ⁻³	溶解物質量(g/ℓ) ×10 ⁻³	水温(°C)	湖水密度(g/cm ³) 1+	測定年月日	水深(m)	懸濁物質量(g/ℓ) ×10 ⁻³	溶解物質量(g/ℓ) ×10 ⁻³	水温(°C)	湖水密度(g/cm ³) 1+	
1969. 11. 24	0	23	60	6.78	0.13×10 ⁻⁴	1970. 5. 7	21	237	48	3.85	1.96×10 ⁻⁴	
	5	—	70	6.58	0.18×10 ⁻⁴		27	293	58	3.95	2.41×10 ⁻⁴	
	10	8	67	6.58	0.20×10 ⁻⁴		39	512	78	2.10	3.67×10 ⁻⁴	
	15	4	67	6.55	0.17×10 ⁻⁴		45	533	75	2.40	3.88×10 ⁻⁴	
	20	8	70	6.52	0.18×10 ⁻⁴		1970. 7. 31	0	6	96	24.30	-26.55×10 ⁻⁴
	30	8	127	6.29	0.90×10 ⁻⁴			1	30	101	24.10	-25.81×10 ⁻⁴
	35	60	93	5.90	1.01×10 ⁻⁴			1.5	64	82	23.85	-25.15×10 ⁻⁴
	40	143	67	5.59	1.36×10 ⁻⁴			2	0	95	16.96	-10.96×10 ⁻⁴
	45	148	90	5.92	1.53×10 ⁻⁴			2.5	50	85	14.93	-7.46×10 ⁻⁴
	50.2	236	107	6.51	2.04×10 ⁻⁴			3	16	138	12.60	-4.05×10 ⁻⁴
1969. 12. 5	0	20	57	4.78	6.4×10 ⁻⁵	4	7	93	7.70	-0.09×10 ⁻⁴		
	5	23	50	4.80	5.9×10 ⁻⁵	5	59	50	6.40	0.41×10 ⁻⁴		
	10	10	57	4.80	5.8×10 ⁻⁵	10	168	44	4.92	1.42×10 ⁻⁴		
	15	10	57	4.80	5.8×10 ⁻⁵	15	207	55	4.85	1.78×10 ⁻⁴		
	20	8	70	4.80	7.0×10 ⁻⁵	20	276	47	4.80	2.14×10 ⁻⁴		
	25	—	60	4.80	5.5×10 ⁻⁵	25	251	98	4.65	2.52×10 ⁻⁴		
	30	20	57	4.81	6.4×10 ⁻⁵	30	301	59	4.61	2.44×10 ⁻⁴		
	30.5	17	67	4.80	7.3×10 ⁻⁵	35	323	61	4.66	2.59×10 ⁻⁴		
1970. 2. 19	1	2	63	0.00	-6.8×10 ⁻⁵	1970. 9. 11	0	—	114	18.80	-14.29×10 ⁻⁴	
	5	17	63	0.90	-40×10 ⁻⁵		1.5	47	66	18.00	-12.82×10 ⁻⁴	
	10	10	50	2.16	2.5×10 ⁻⁵		3	17	96	17.80	-12.43×10 ⁻⁴	
	15	3	53	2.83	4.3×10 ⁻⁵		4	73	72	17.70	-12.04×10 ⁻⁴	
	20	10	67	3.35	7.0×10 ⁻⁵		5	58	97	17.50	-11.53×10 ⁻⁴	
	25	27	43	3.45	5.8×10 ⁻⁵		6	106	80	15.70	-8.36×10 ⁻⁴	
	28	22	63	3.60	7.6×10 ⁻⁵		10	136	104	13.20	-4.33×10 ⁻⁴	
	30	47	53	5.33	6.7×10 ⁻⁵		11	232	48	8.90	0.09×10 ⁻⁴	
	35	28	107	5.99	9.2×10 ⁻⁵		13	185	77	6.30	1.50×10 ⁻⁴	
	40.9	63	92	6.32	8.8×10 ⁻⁵		15	176	105	6.70	1.58×10 ⁻⁴	
1970. 5. 7	0	0	78	8.90	-1.06×10 ⁻⁴	20	200	57	7.80	0.7×10 ⁻⁴		
	3	64	49	7.60	-0.12×10 ⁻⁴	25	708	72	9.75	2.63×10 ⁻⁴		
	5	53	34	5.12	0.57×10 ⁻⁴	30	1,008	142	10.60	4.39×10 ⁻⁴		
	10	163	43	3.15	0.75×10 ⁻⁴	35	1,300	139	11.50	5.30×10 ⁻⁴		
	15	175	48	3.60	1.56×10 ⁻⁴							

典型的な夏型で密度成層も極めて安定であることがわかる。10月15日(図-16)は冷却期に入り8月5日に比べて表層から底層までの密度差が小さくなり不安定であるが深度が増すにつれて各測点とも密度は増大している。11月5日(図-17)では上層から底層まで各測点ともいっそう密度差が小さくなり密度鉛直分布は直線に近く秋季の循環期であることを示している。以上、1971年5月、7月、8月、10月、11月の観測当日の水温、濁度、密度鉛直分布の概況について述べたが貯水池広域における各測点での密度鉛直分布の違いは5回の観測を通して見るならば同深度においても密度の若干の差異が見られ密度勾配の存在を示している。しかし循環期においては各測定点間の密度の差が小さくなり一様な分布を示す。また季節による表水層の密度の変化は各測点とも非常に大きい底水層における密度の変化は小さく、循環期にわずかにその値を変えるだけであり貯水池広域における濁水の長期滞留をうかがわせる。

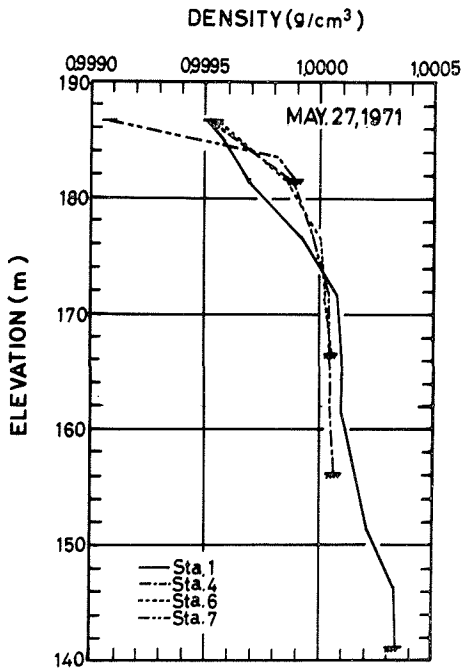


図-13 湖水密度鉛直分布

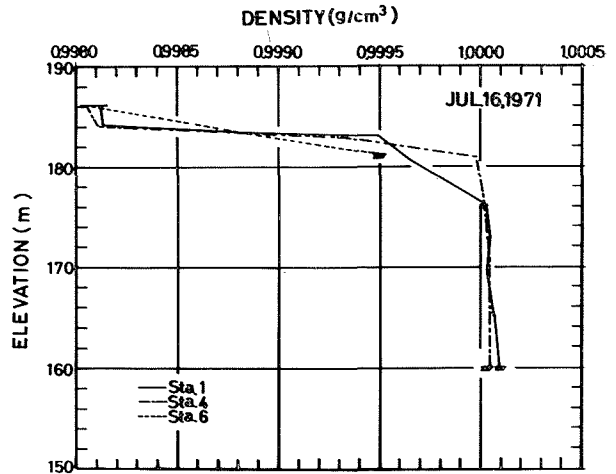


図-14 湖水密度鉛直分布

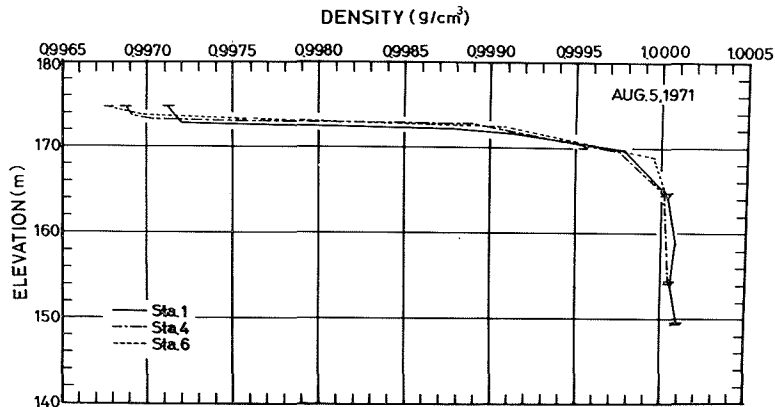
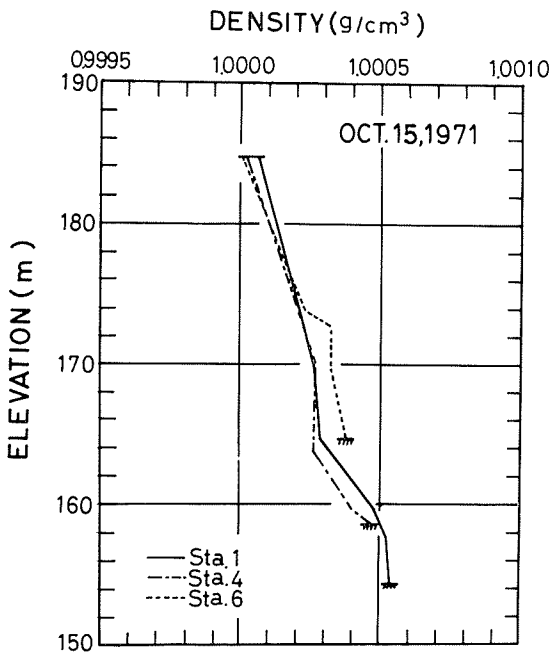
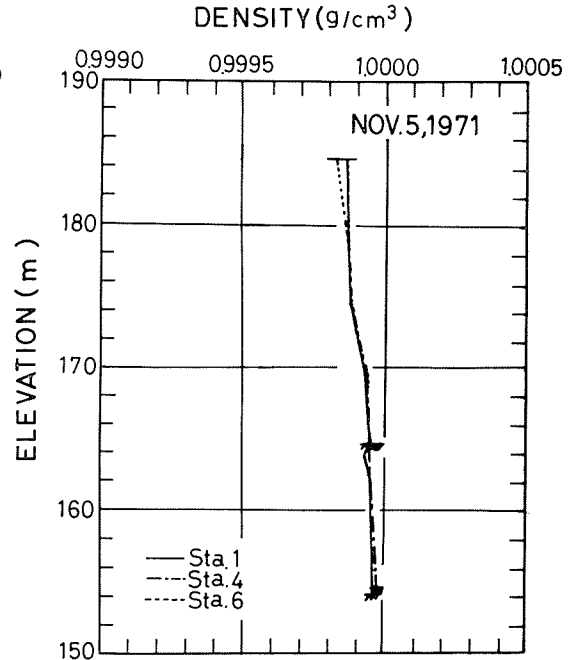


図-15 湖水密度鉛直分布



図—16 湖水密度鉛直分布



図—17 湖水密度鉛直分布

5. 結 語

以上、濁りの大きい桂沢ダム貯水池における水温ならびに濁度分布の季節変化の観測結果と成層化過程における懸濁物質、溶解物質の湖水密度に与える影響について述べた。桂沢ダム貯水池の成層化過程においては底層部に滞留する懸濁物質、溶解物質が重要な役割をはたす。すなわち水温鉛直分布に見られる水温逆転層は懸濁物質、溶解物質による密度を考慮することにより安定した成層化特性を有することが見いだされた。貯水池広域における湖水密度鉛直分布は循環期をのぞいては若干の差異が認められた。また各測定点では上層から下層へと密度が増し安定した密度成層が見られた。しかし融雪出水や洪水等における増水時に流入部から密度流として流入する多量の懸濁物質を含む泥水の貯水池内における挙動についてはなお細詳な観測を必要とする。

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桂沢ダム管理事務所に対し感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 福島久雄, 八 鞆 功, 高橋 将, 大谷守正: 金山ダム貯水池内にお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, 昭和 43 年 3 月, p. 238-248.
- 2) 福島久雄, 八 鞆 功, 高橋 将, 大谷守正: 金山ダム貯水池内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, 昭和 44 年 3 月, p. 209-236.
- 3) H. Fukushima, I. Yakuwa, S. Takahashi and M. Ohtani: Thermal Stratification in the Kanayama Dam Reservoir, Synthetic Hydrological Study for the Ishikari River Basin. Vol. 2, June 1969, p.149-158.