

## かんがい用貯水池の堆砂に関する研究

### Ⅷ 貯水池の密度流について (その4)

吉 良 八 郎

Studies on the sedimentation in irrigational reservoirs.

Ⅷ On the density current in reservoirs (4)

Hachiro KIRA (Laboratory of Agricultural Engineering)

(Received September 3, 1958)

### Ⅳ 神内上池に関する実測 (続)

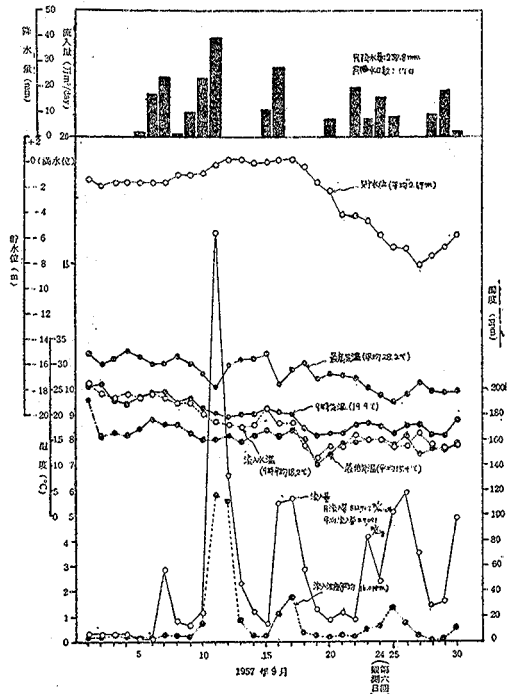
(2) 調査結果および考察 (続)

(f) 第6回 (1957年9月24日) 調査結果について (第11表, 第51, 52, 53, 54, 55, 56, 57図参照)。

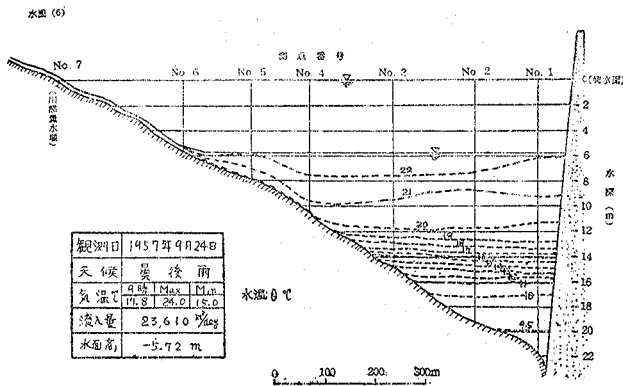
第6回観測としては, 第6報の第4, 5, 6図に示す定測点 No.1, No.2, No.3, No.4, No.5, No.6 および No.7 について, 水温, 濁度, pH, アルカリ度ならびに透明度などの各水質調査 (No.3 のみは表面水温, 透明度のみ観測) を行い, 沈殿箱による sediment 調査は, 今回も行わなかった。この際各測点における採水観測は水深1mごと行なった。

さて9月の川添観測点における水文事項 (第51図参照) をみると, 気温は9月平均値として9時 19.9°C, max 28.2°C, min 15.4°C で8月を max 値として下降状態を示し, 平均9時流入水温は18.2°C で気温より1.7°C 低くまた8月のそれより6.0°C も低くなっている。降水は台風期にあたるので降水日数17日で降水量237.8mm となり, これまでの最高値を示した。したがって流入水量をみると, 月流入量 812, 717m<sup>3</sup>/month, 平均流入量 27, 091 m<sup>3</sup>/day で相当多く過去2カ年平均の約3倍強を示した。また平均9時流入濁度は 16.0ppm で, 7月のそれには及ばないとしても8月の約6倍となり, かなり多量の sediment が流入したことを暗示している。貯水位は9月中旬に若干の over flow を示したが, 下旬に至りて急に -8m 付近まで低下 (かんがい水の補給のみでなく, 主として堰堤右岸側施工中の隧道式取入口工事のため放水した) し, 平均貯水位は満水面下 2.67m となった。

調査日の水文事項 (第51図参照) をみると, 貯水池流入水量は23, 610m<sup>3</sup>/day でこれまでの観測で最高値を示したが, これは平均流入量 8, 147m<sup>3</sup>/day の約3倍弱となる。貯水位は放水のため下降途上であり, 満水面下5.72mに下り, 気温は川添観測点で9時 17.8°C, max 24.0°C, min 15.0°C, また堰堤部観測点で9時 22.0°C, max 25.0°C, min 17.0°C であり, 観測時 (12~15時) は24.3~25.0°C, 天候は曇後雨で当日雨量として 15.8mm を示した。また流入水質をみると, 水温は12時19.5°C で気温 (24.3°C) より4.8°C も低く, 濁度は 12.4ppm でこれまでの観測時として max 値を示し, アルカリ度は28.0, ppm, pH は 7.3 であった。すなわち今回の観測は連続降雨期間 (22~25日) 中の観測であり, しかも貯水位低下により後述のように sediment 問題について興味ある結果が得られた。



第51図 神内上池水文調査 (6)



第52図 神内上池水温分布図 (6)

さて水質観測並びに計算値の結果を示したのが第11表で、これから各水質の等値分布図を作製したのがそれぞれ第52図(水温分布図), 第53図(濁度分布図), 第54図(pH分布図), 第55図(アルカリ度分布図), 第56図(密度分布図)および第57図(限界速度勾配分布図)となる。

先ず水温分布(第11表, 第52図参照)についてみると、気温が8月をmax値として9月に入り漸次低下し、観測時の流入水温は19.5°Cで気温より約5.0°C低いが、池内表面水温は22.1~22.6°Cで観測時気温より約2~3°C低く、また前回(8月24

第11表 神内上池水質調査並びに計算表 (6)  
(1957年9月24日, 曇後雨, 気温24.3~25.0°C, 貯水位満水面下5.72m)

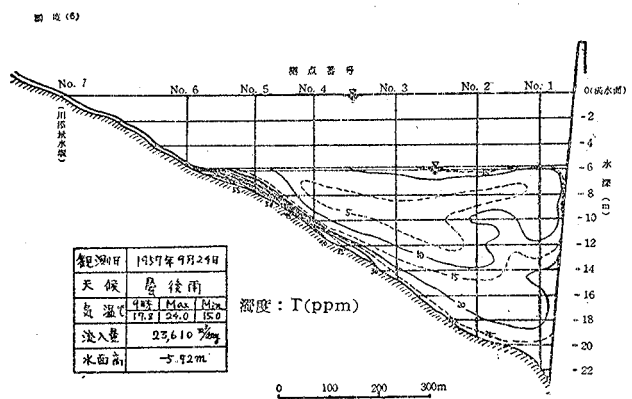
観測点	水深 Z(m)	水温 $\theta(^{\circ}\text{C})$	濁度 T (ppm)	密度 $\rho_{\theta}$	鉛直安定度 $E=d\rho/dz$	限界速度勾配 $G_e=\sqrt{lgE/\rho}$	pH	アルカリ 度(ppm)	備考
No. 1	0	22.4	5.5	0.99784581	-0.00016034	0.0397	7.2	31.0	気温: 24.7°C 透明度: 2.40m
	1	21.7	6.1	0.99800615	-0.00006716	0.0257	7.2	29.0	
	2	21.4	6.8	0.99807331	-0.00004295	0.0205	7.1	28.0	
	3	21.2	5.0	0.99811626	-0.00006714	0.0257	7.2	27.5	
	4	20.9	9.0	0.99818340	-0.00014753	0.0381	7.1	27.7	
	5	20.2	9.2	0.99833093	-0.00006186	0.0246	7.1	25.9	
	6	19.9	10.1	0.99839279	-0.00017826	0.0418	7.1	25.9	
	7	19.0	11.2	0.99857105	-0.00047849	0.0685	7.0	26.5	
	8	16.3	18.3	0.99904954	-0.00036318	0.0597	6.9	31.3	
	9	13.8	21.4	0.99941272	-0.00030445	0.0546	6.8	38.0	
	10	11.1	18.2	0.99971717	-0.00009066	0.0298	6.8	38.5	
	11	10.1	17.2	0.99980783	-0.00003231	0.0178	6.8	43.0	
	12	9.7	15.7	0.99984014	-0.00001073	0.0103	6.9	47.5	
	13	9.6	20.8	0.99985087	-0.00001013	0.0103	6.9	50.5	
14	9.5	25.0	0.99986100		0.0032	6.9	50.5		
No. 2	0	22.6	18.2	0.99780587	-0.00004048	0.0199	7.2	25.0	気温: 25.0°C 透明度: 2.50m
	1	22.4	6.5	0.99784635	-0.00011420	0.0335	7.3	26.0	
	2	21.9	5.2	0.99796055	-0.00019785	0.0441	7.2	26.6	
	3	21.0	2.6	0.99815840	-0.00009009	0.0297	7.2	25.5	
	4	20.6	11.6	0.99824849	-0.00006028	0.0243	7.1	27.4	
	5	20.3	6.5	0.99830877	-0.00006266	0.0248	7.1	26.3	
	6	20.0	8.2	0.99837143	-0.00021671	0.0461	6.9	26.2	
	7	18.9	7.4	0.99858814	-0.00040796	0.0633	7.1	27.5	
	8	16.6	9.0	0.99899610	-0.00041348	0.0637	7.0	28.0	
	9	13.8	15.6	0.99940958	-0.00023477	0.0480	6.9	41.3	
	10	11.8	14.8	0.99964435	-0.00016483	0.0402	6.9	42.0	
	11	10.1	19.7	0.99980918	-0.00003328	0.0181	6.9	44.5	
	12	9.7	20.0	0.99984246	-0.00000162	0.0040	6.8	44.5	
12.5	9.7	21.5	0.99984327			6.8	50.0		
No. 3	0	22.5						透明度: 2.50m	
No. 4	0	22.3	4.9	0.99786871			7.1	25.5	気温: 25.0°C 透明度: 2.50m
	1	22.0	4.5	0.99793743	-0.00006872	0.0260	7.1	25.5	
	2	22.0	5.3	0.99793786	-0.00000043	0.0021	7.1	25.5	
	3	21.8	4.1	0.99798257	-0.00004471	0.0210	7.0	26.5	
	4	21.2	10.0	0.99811895	-0.00013638	0.0366	7.1	27.8	
4.5	20.9	23.5	0.99819123	-0.00014456	0.0377	7.1	28.2		
No. 5	0	22.1	10.2	0.99791765			7.2	29.5	気温: 25.0°C 透明度: 0.75m
	1	21.5	15.7	0.99805598	-0.00013833	0.0369	7.1	27.5	
	1.5	21.0	56.0	0.99818724	-0.00026252	0.0508	7.2	28.0	
No. 6	0	22.3	31.7	0.99786919			7.1	28.5	透明度: 0.65m
No. 7	0	19.5	12.4	0.99847420			7.3	28.0	気温: 24.3°C

日)のそれより約 6.0°C 低くなっている。また堰堤付近最深部で約 9.0°C 以下に下り、この間約 17m の深さにわたり、まだ水温の正列成層が明瞭に認められるが、この際注目すべきことは、水温躍層も 6月頃から発達してきた第2次躍層が消滅して1つの主躍層のみとなっていることである、いまその各測点における鉛直面内 max, min の水温較差をみると、測点 No.1 (12.9°C), No.2 (12.9°C), No.4 (1.4°C), No.5 (1.1°C) となり、前回 (8月24日) よりさらに水温較差の減少傾向が認められる。これは貯水位低下の影響もあるが、主として輻射熱吸収による熱量が空中への移譲熱量 (風, 蒸発の潜熱によるもの) より小なるいわゆる放熱型の冷却期に入ってきたためである。水温の鉛直傾度  $d\theta/dz$  から池内成層状態をみると、前回までの第1次および第2次躍層が1躍層として残存している。これは、前回 (8月24日) 観測時において6月頃より発達してきた両躍層が、その堰堤近くで融合するがごとき傾向を示したが、この融合がなんらかの原因により促進されて今回のごとき主躍層 (第1次躍層) を形成するに至ったものと考えられる。この水温両躍層の融合は、後述アルカリ度分布 (第55図参照) において、水温躍層とは同じ位置に存在するアルカリ度の2躍層がその堰堤近くにおいて融合状態を示している結果からも確認できるだろう (この際アルカリ度2躍層の融合は水温のそれと多少時期的ズレがある)。そこで表水層は水深約 0~7m の範囲 (測点 No.4 より上流側においては、その成層が池底勾配に沿って傾斜している) にみられ、その平均水温傾度は1m 当りに換算して測点 No.1 (0.49°C), No.2 (0.53°C), No.4 (0.34°C) で小さい。またそれ以下の約 7~10m 範囲が変水層となり、約 10m 以下が深水層の形態を示しその平均水温傾度も測点 No.1 (0.40°C), No.2 (0.70°C) で、表水層と同じく小さい。その変水層は前述のように第2次躍層が第1次躍層と融合消滅し、HERGESELL, LANGENBECK (1892)<sup>(2,39)</sup> のようないわゆる主躍層を形成しているが、いま水深 7~10m にわたる躍層内水温鉛直傾度をみると、測点 No.1, 2.5~2.8 (平均2.67)°C, No.2, 2.0~2.8 (平均2.37)°C となり、inflexion layer は測定 No.1 で水深 7~8m (傾度2.8°C), No.2 で水深 8~9m (2.8°C) にみられる。これら躍層内の池内全域にわたる水温傾度平均値として2.52°C が得られる。これは4月以降の観測中 max 値を示し、一般湖沼のそれ (平均約2.0°C) を over する値となり、この躍層内では対流が擾動があまり活潑でないことが示している。

この際水温分布のみの面から池内流動を考えると、流入水温は躍層上限付近の水温 (約19~20°C) に近いので、第52図に示すように流入口より測点 No.4 付近まで池底をほう density under flow として流下し、測点 No.4 より下流側において強大な水温傾度を示す主躍層の存在により、この躍層上限付近同温度層を stratified flow としてほぼ水平に流動することが一応考えられる。

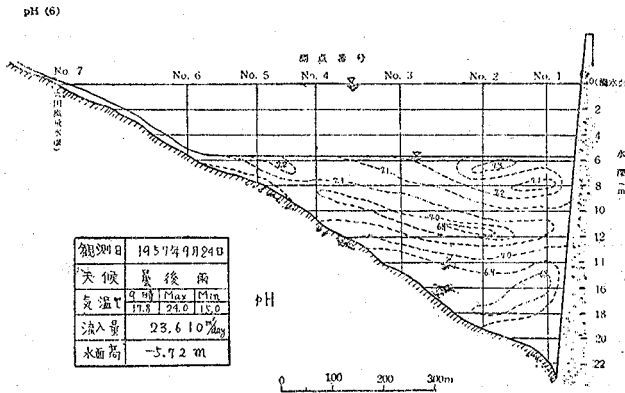
以上両躍層の融合強化 (第2次躍層の消滅) による主躍層の形成原因については、気温の低下、貯水位変動に伴う異質水層の水温差、流入流出に伴う水温変化あるいは密度流の侵入状況などにより一応説明できると思われるが、このことについては躍層の周年変化の項において検討したい。

次に濁度分布 (第11表, 第53図参照) をみると、9月22日以降の連続降雨による peak flow (23日流入量 41,447m<sup>3</sup>/day) がやや高濁度をもたらし、観測時の流入濁度も 12.4ppm (これまでの観測時を通じて max 値) を示し、流入量も観測時 (流入水位 0.19m で 0.28958m<sup>3</sup>/sec) で、24日流入量 23,610m<sup>3</sup>/day となり当溪流として平水量を上廻っているわけで、流入濁水の影響を顕著に示している。さらに1955年末苫上改修工事完了後約2カ年間に一旦沈澱堆積した上流側の sediment (この新生沈澱物は圧密による固結が進展してお



第53図] 神内上池濁度分布図 (6)

らず、流水により侵蝕浮遊し易い状態にある) が、再び高速流入水により侵蝕攪乱、流送されて池水の濁濁に迫車をかけている状態がみられる。すなわち当日の背水点 (測点 No.6) から下流側測点 No.4 付近にかけて、池底勾配に沿った厚さ約2m の高濁度成層 (約15~55ppm) がみられるが、これは水温分布の場合でも認められたよう

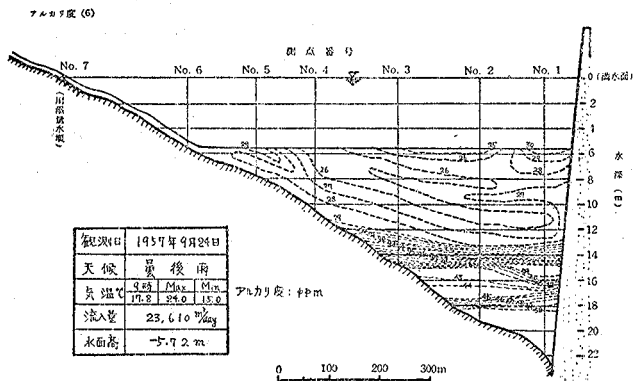


第54図 神内上池 pH 分布図 (6)

もっているの、その1部は躍層を突破し、相当な厚さをもつ傾斜流として流過したことが推察される。なおこの流動の厚さを増してダムに達した溷濁成層流は、はい上りを示しそのうち池表まで達した1部は濁度 10ppm 以上の表層逆流流として測点 No.4 付近まで達せんとしており、demarcation line は測点 No. 4~No. 5 の中間付近に認められるようである。

次に pH 分布 (第11表, 第54図参照) では、流入水 pH は7.3 であるのに対し池内においては 6.8~7.3 の範囲であるが、今回は前回 (8月24日) 明瞭に認められた pH の正列成層 (上層高く下層低い) が、日射や水温の影響もあることながら、主として貯水位低下による流入水の影響によりて乱されてその成層がかなり崩れている傾向がうかがえる。

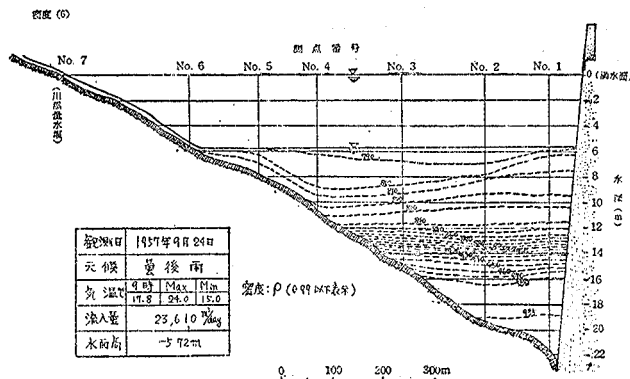
アルカリ度分布 (第11表, 第55図参照) では、流入水のそれは 28ppm であるのに対して池内では約 25~50ppm にわたってアルカリ度成層が残存している。この際注目すべきことは、前回と同じように水温躍層の存在した付近、すなわち水深約 7~9m 付近に顕著なアルカリ度の第1次躍層および水深約 12~13m 付近に第2次躍層の存在がみられることであり、この両躍層は測点 No.1 付近から堰



第55図 神内上池アルカリ度分布図 (6)

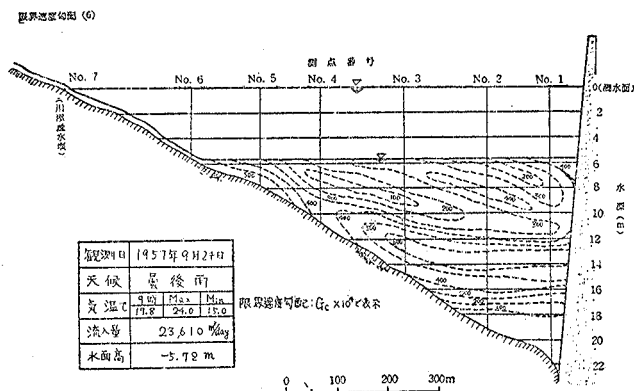
堤にかけて融合する傾向を示している。この際アルカリ度第1躍層では、深さ 2m につきアルカリ度平均 12.6ppm (深さ 1m につき 6.3ppm) 高くなっており、これはこれまでの観測中 max 値のアルカリ度傾度を示すことになる。また第1次躍層上限より池表に至る表水層間におけるアルカリ度成層は流入水の影響を受けて崩れつつある傾向を示している。

次に密度分布 (第11表, 第56図参照) であるが、前述濁度分布で濁濁質の流入や貯水位低下による上流側新生沈澱物の侵蝕再浮遊、流送の影響によりて池底に沿った付近にやや高濁度成層が認められるが、この際池内における水温較差はなお相当大きいので、特に高濁度の場合は別として一般に池内密度は専ら温度差にもとづくことになり、前述水温分布と大体同



第56図 神内上池密度分布図 (6)

じ傾向の成層状態を示しており、この分布からも水深約7~10mの範囲に主躍層(第1次躍層)の存在が明瞭となってくる。その鉛直分布状態をみると、表層 min で約0.99780から堰堤付近最深部で max 約0.99990にわたっており、その密度勾配  $E=d\rho/dz$  をみると、深さ 1m 当り測点 No. 1  $(10\sim478)\times 10^{-6}$ , No. 2  $(2\sim413)\times 10^{-6}$ , No. 4  $(0.4\sim145)\times 10^{-6}$ , No. 5  $(138\sim263)\times 10^{-6}$  の範囲であるが、躍層部分(水深 7~10m)の平均値すなわち躍層の平均鉛直安定度  $E_m$  は、測点 No. 1  $(382\times 10^{-6})$ , No. 2  $(352\times 10^{-6})$  でその総平均値として  $367\times 10^{-6}$  が得られる。この躍層部分総平均値は前回(8月24日)の第1次躍層のそれ  $(408\times 10^{-6})$  より低下、第2次躍層のそれ  $(337\times 10^{-6})$  より増高という結果となる。この際第11表および第56図には、第6報で誘導した(7), (8)式から求めた密度  $\rho_{ec}$  および鉛直安定度  $E=d\rho_{ec}/dz$  が記されており、また第56図には密度0.99以下の数値を3桁まで表示してあることは、前5回観測と同じであり、以後別記しない限りこのような表示をなす。



第57図 神内上池限界速度勾配分布図(6)

い値を示している。すなわち躍層の平均限界速度勾配は、測点 No.1  $(0.0609\text{sec}^{-1})$ , No.2  $(0.0583\text{sec}^{-1})$  となり、躍層総平均として  $G_r=0.0596\text{sec}^{-1}$  が得られ、この値は前回(8月24日)のそれと大差なく、この程度 of 速度勾配をもつ乱流の交換作用を消滅させる stability をもつことになり、相当大なる乱れの energy を以てしても混合は行われがたいことになる。

以上今回の流動状態について考えてみると、各水質分布図でもわかるように、当日流入水は  $23,610\text{m}^3/\text{day}$   $(0.273\text{m}^3/\text{sec})$  で相当多量で、貯水位も満水面下 5.72m に低下し、貯水量約  $333,000\text{m}^3$  で有効貯水容量  $(75,912\text{m}^3)$  の約 1/2 まで減じているため流入水の影響を顕著に受けている。すなわち濁濁流入水は、上流側露出の新生沈澱物を侵蝕再浮遊することにより高濁高速水として池水中に流入し、池底勾配に沿った水温や濃度差にもとづく顕著な濁濁潜行密度流のかたちで測点 No.4 付近まで流下し、この付近に至りて stability の高い躍層部分の抵抗を受けて乱流の交換作用が若干消滅し、乱れの energy を失った1部は躍層上限付近同密度層を、1部は躍層を突破して比較的 stability の低い深水層に侵入し、何れも堰堤内法面に達してはい上り、その1部が池表まで達して上流側に向う逆向流として池内縦断面内における大循環による濁質の拡散にあづかっていることが推察される。またこの際池内縦断面内大循環に伴う demarcation line は測点 No.4~No.5 の中間点付近にあるように考えられる。

最後に透明度分布(第11表参照)では、測点 No.1 (2.40m), No.2 (2.50m), No.3 (2.50m), No.4 (2.50m), No.5 (0.75m), No.6 (0.65m) で、貯水位低下や濁濁質流入の影響により一般に小さいが、上流側および堰堤付近において特に透明度が小さくなっている。

(g) 第7回(1957年11月1日)調査結果について(第12, 13, 14表, 第58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 図参照)。

第7回観測としては、測点 No.1, No.2, No.4, No.6, No.7 について水温、濁度、pH、アルカリ度および透明度などの各水質項目について調査を行った。この際測点 No.2 については、秋季循環期における貯水池横断面内の水質分布をみるため、測点 No.2 を中心にして左岸側中央点 No.2-A および右岸側中央点 No.2-B についても、観測を追加し、測点 No.2 では11時および15時における水温を観測し、日中における鉛直変動をしらべてみた。また sediment 調査では、測点 No.1, No.2 (8月8日~11月1日まで86日分) および No.4 (7月2日~11月1日まで123日分) について、沈澱箱による sediment 採取を行った。

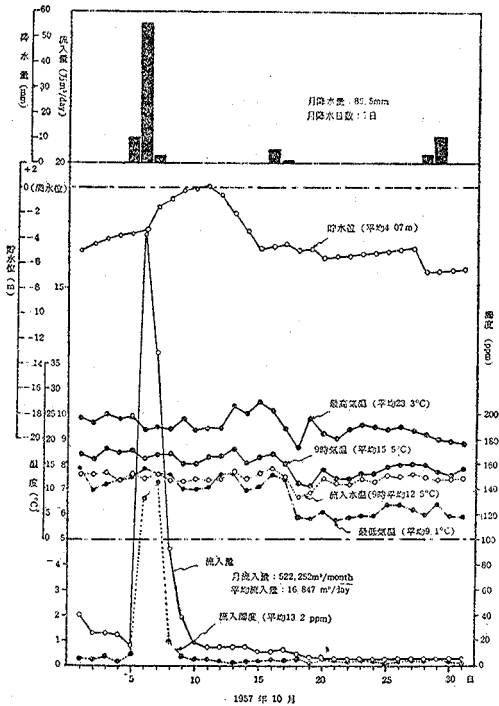
次に RICHARDSON number  $Ri$  を用いて躍層の抵抗について考察してみよう。第6報(19)式すなわち  $G_r=\sqrt{gE/\rho}$  により各観測値に対する限界速度勾配を計算したのが第11表に示してあり、また第57図(限界速度勾配分布図)では、各観測点での計算値  $G_r$  に  $10^4\text{sec}^{-1}$  を乗じた値を記入してあることは、これまでおよび以後の各観測を通じて同じである。そこで  $G_r$  の値をみると、測点 No.1 で  $0.003\sim 0.069\text{sec}^{-1}$ , No.2 で  $0.004\sim 0.064\text{sec}^{-1}$ , No.4 で  $0.002\sim 0.038\text{sec}^{-1}$ , No.5 で  $0.037\sim 0.051\text{sec}^{-1}$  の範囲となるが、前述の鉛直安定度  $E$  と同じように、その躍層部分において相当高

さて10月における川添観測点の水文事項(第58図参照)をみると気温は次第に低下して10月平均値として9時 15.5°C, max 23.3°C, min 9.1°Cとなり,平均9時流入水温は気温のそれより低く12.5°Cで9月平均より5.7°C

低くなっている。降水日数7日で降水量85.5mmとなり少いが,流入水量をみると9月末の連続降雨による影響や,10月5~7日頃の強雨による peak flow (約16万 m<sup>3</sup>/day)によりて,その10月上旬平均流入水位約0.20mを示したので月流入量も522,252m<sup>3</sup>/month,平均流入量16,847m<sup>3</sup>/day(過去2カ年平均流入量の約2倍)で相当多量となった。

また平均9時流入濁度は9月と大体似て13.2ppmとなりその値は7月のそれには及ばないとしても8月の約4倍で相当多量の浮遊物質が流入沈殿したことが予知できる。また貯水位は9月末より始った rise が10月6~7日頃の peak flow により急上昇を続け11日(overflow)を max とした peak を示し,以後満水面下約5m付近まで急減(主として右岸側導水隧造施工のため放水)してその平均貯水位は満水面下4.07mとなった。

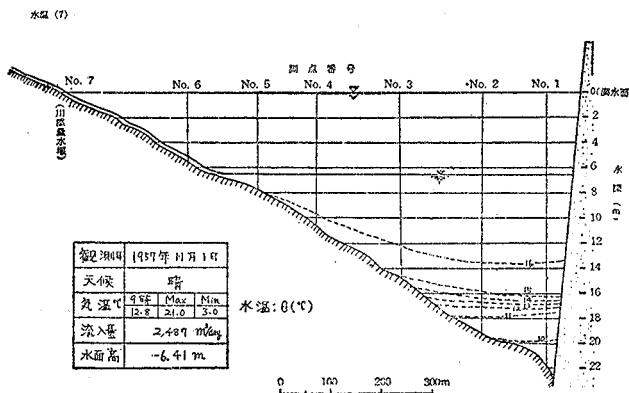
調査日の水文事項をみると(第66図参照),貯水池流入量は2,487m<sup>3</sup>/day(2カ年平均流入量の約1/3強)で,これまでの観測日を通じて min 値を示し,その調査日前後の流入水日量をもて貯水容量に比し約0.3%程度であるから実質上の影響は少ないものといえよう。貯水位は満水面下6.41mに下り,気温は川添観測点で9時12.8°C, max 18.0°C, min 11.0°Cであり,観測時(10~13時)



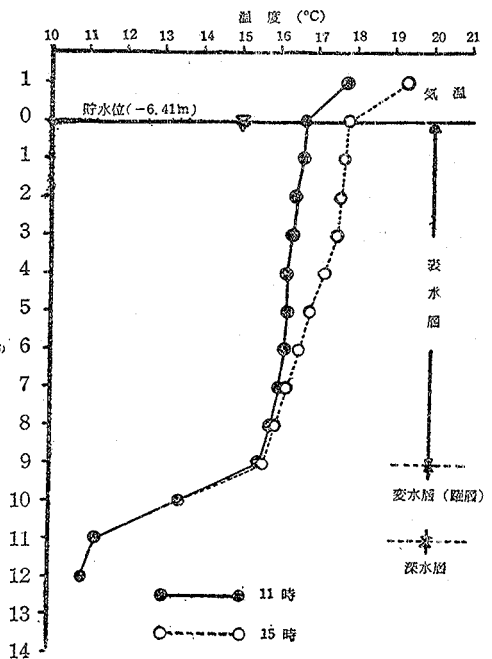
第58図 神内上池水文調査(7)

15.0~17.7°Cで天候は晴である。また流入水質をみると水温13.6°Cで気温より低く,濁度3.6ppmでpHは7.3,アルカリ度は39ppm,であった。

さて水質観測並びに計算値の結果を示したのが第12表で,これから各水質の等値分布図あるいは鉛直分布図を作製したのがそれぞれ第59図(水温分布図),第60図(水温鉛直分布時間的变化図),第61図(濁度分布図),第62図(pH分布図),第63図



第59図 神内上池水温分布図(7)



第60図 水温の時間的变化(測点No. 2) [1957年11月1日]

第12表 神内上池水質調査並びに計算表 (7)  
(1957年11月1日, 晴, 気温15.0~17.7°C, 貯水位満水面下6.41m)

観測点	水深 Z (m)	水温 $\theta$ (°C)	濁度 T (ppm)	密度 $\rho_{\theta T}$	鉛直安定度 $E = d\rho/dz$	限界速度勾配 $G_e = \sqrt{gE/\rho}$	pH	アルカリ 度 (ppm)	備考
No. 1	0	16.7	7.1	0.99897869	-0.00001460	0.0119	7.3	27.5	気温: 16.9°C 透明度: 2.70m
	1	16.6	3.8	0.99899329	-0.00003559	0.0187	7.3	26.5	
	2	16.4	9.7	0.99902888	-0.00001337	0.0119	7.3	25.5	
	3	16.3	4.8	0.99904225	+0.00000097	0.0031	7.3	25.5	
	4	16.3	3.0	0.99904128	-0.00001714	0.0120	7.2	26.0	
	5	16.2	5.3	0.99905842	-0.00003420	0.0183	7.3	35.0	
	6	16.0	10.4	0.99909262	+0.00000308	0.0055	7.2	25.0	
	7	16.0	4.7	0.99908954	-0.00003328	0.0181	7.2	27.5	
	8	15.8	9.0	0.99912282	-0.00003566	0.0187	7.3	29.0	
	9	15.6	18.6	0.99915848	-0.00013727	0.0367	7.1	28.0	
	10	14.7	29.8	0.99929575	-0.00045415	0.0667	7.0	41.0	
	11	10.7	8.6	0.99974990	-0.00001437	0.0118	7.0	45.0	
	12	10.6	18.2	0.99976427	-0.00001919	0.0137	6.9	52.0	
	13	10.4	20.4	0.99978346	-0.00005684	0.0232	6.8	52.0	
14	9.8	30.5	0.99984030			6.8	53.0		
No. 2	0	16.7	3.2	0.99897659	-0.00001811	0.0133	7.3	25.0	気温: 17.7°C 透明度: 2.50m
	1	16.6	6.4	0.99899470	-0.00003126	0.0176	7.3	25.0	
	2	16.4	4.3	0.99902596	-0.00001640	0.0127	7.2	26.0	
	3	16.3	5.0	0.99904236	-0.00001720	0.0129	7.3	26.0	
	4	16.2	7.4	0.99905956	-0.00000216	0.0046	7.2	25.0	
	5	16.2	11.4	0.99906172	-0.00001383	0.0117	7.2	25.5	
	6	16.1	7.8	0.99907555	-0.00001647	0.0127	7.3	26.5	
	7	16.0	9.3	0.99909202	-0.00003004	0.0172	7.3	28.0	
	8	15.8	7.6	0.99912206	-0.00004814	0.0217	7.3	26.0	
	9	15.5	12.4	0.99917020	-0.00029086	0.0534	7.1	29.0	
	10	13.4	16.7	0.99946106	-0.00024482	0.0490	6.9	43.0	
	11	11.2	15.4	0.99970588	-0.00003006	0.0171	6.8	46.0	
12	10.9	17.4	0.99973594			6.8	52.0		
No.2A	0	16.7	3.6	0.99897680	-0.00002183	0.0146	7.3	25.0	気温: 17.6°C 透明度: 2.50m
	3	16.3	4.9	0.99904231	-0.00001105	0.0104	7.2	25.5	
	6	16.1	7.6	0.99907544	-0.00002660	0.0161	7.2	25.5	
	9	15.6	12.6	0.99915524	-0.00027026	0.0516	7.3	29.0	
	11	11.3	15.0	0.99969576			6.9	45.5	
No.2B	0	16.6	3.7	0.99899324	-0.00004809	0.0125	7.3	22.0	透明度: 2.10m
	3	16.3	4.2	0.99904193	-0.00002972	0.0121	7.2	24.7	
	5	16.2	29.8	0.99907165			7.2	25.6	
No. 3	0	16.6						気温: 17.2°C 透明度: 2.50m	
No. 4	0	16.5	5.6	0.99901052	-0.00001608	0.0126	7.2	25.0	気温: 16.8°C 透明度: 2.50m
	1	16.4	5.3	0.99902660	-0.00004717	0.0215	7.3	24.0	
	2	16.1	4.5	0.99907377	-0.00001609	0.0126	7.3	25.0	
	3	16.0	5.3	0.99908986	-0.00006171	0.0246	7.3	25.0	
	4	15.6	5.8	0.99915157			7.2	26.0	
No. 5	0	16.4	5.5	0.99902661	-0.00003208	0.0177	7.3	27.0	気温: 16.8°C
	1	16.2	5.8	0.99905869			7.3	27.0	
No. 6	0	15.9	5.2	0.99910535			7.3	28.0	気温: 16.6°C
No. 7	0	13.6	3.6	0.99942878			7.3	39.0	気温: 15.0°C

(アルカリ度分布図), 第64図 (密度分布図) および第65図 (限界速度勾配分布図) である。

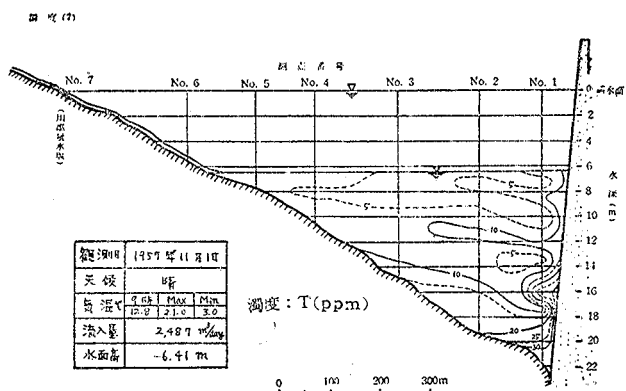
先ず水温分布 (第12表, 第59, 60図参照) をみると, 観測時流入水温は 13.6°C で気温より低く, 池内表層水温も 16.4~16.7°C にわたりそれぞれ気温より低いとその差は平均約 0.5°C 程度で前回 (9月24日) よりも気温低下 (平均約 6°C) により池面水温が気温に近づいている傾向がわかる。また堰堤付近最深部では水温約 10°C 以下に下っており, 従来の各観測日の水温とあまり変化が認められない。大観的にその縦断面内水温分布をみると, 約 16m の深さにわたり, まだ水温成層が認められ, 測点 No. 2 付近から上流側にかけてその成層が傾いており, また前回 (9月24日) 認められた主躍層がまだ水深9~11付近にその厚さが縮小されて残存していることがわかる。

いまその各測点における鉛直面内 max, min の水温較差をみると、測点 No. 1 (6.9°C), No. 2 (6.8°C), No. 4 (0.9°C), No. 5 (0.2°C) となり、気温低下により前回 (9月24日) の約 1/2 程度までその較差が低減している。また水温の鉛直傾度  $d\theta/dz$  から池内成層状態をみると、表水層は水深約 0~9m の範囲に認められ、その平均水温傾度は 1m 当り測点 No. 1 (0.12°C), No. 2 (0.13°C), No. 4 (0.23°C) で前回よりも小さい。また水深約 9~11m 範囲の変水層以下が深水層 (約 11m 以下) の形態を示しており、この場合表水層と同じように平均水温傾度 1m 当り測点 No. 1 (0.30°C) で前回より低くなっている。水深約 9~11m にわたる変水層すなわち躍層は、その厚さが前回よりやや縮小されており、その水温鉛直傾度は、1m 当り測点 No. 1, 0.9~4.0 (平均2.45)°C, No. 2, 2.1~2.2 (平均2.15)°C となり、inflexion layer は測定 No. 1 で水深 10~11m (傾度4.0°C), No. 2 で水深 10~11m (傾度2.2°C) にみられ、この躍層も上流側に向いやや傾いてその厚さは漸増し、傾度は漸減するがごとき傾向を示している。また躍層の全平均鉛直傾度は 2.30°C となり、前回よりやや低減したが、まだ天然湖沼のそれより大きく、この躍層の存在が、まだ表水層と躍層以下深水層の間における対流、擾動などによる鉛直面内の循環混合作用の障碍となっていることを暗示している。

この際水温分布からみると、川添量水堰位置の水温は 13.6°C であるが、貯水位低下による背水点付近では約 16.0°C 付近に達しているので、結局流入水は池内に於いて density under flow として躍層の上限付近同温度層を流動することが考えられる。またこの頃はいわゆる放熱による循環期に当るわけであるが、たとえば測点 No. 2 における11時および15時観測の水温鉛直分布を示したのが第60図で、日中なおその躍層以上の表水層において受熱、熱移譲による昇温部分があることが一応認められる。一般に貯水池水温は年変化および日変化を行い、放熱期には水面よりの放熱が日射による熱量吸収より大となって漸次冷却されて行くものであるが、熱伝導が行われ日変化の及ぶ範囲は水平流がない場合の水槽実験並びに理論的考察で 40cm 程度<sup>(46-48)</sup>とされており、また水温年変化では、受熱期にかけての水温は水面で max 値を示し、深さと共に減少して表面から加熱された熱量は、順次下方へ伝播され 10m 付近まで輻射熱量が吸収貯蔵されること<sup>(46,48)</sup>、また SCHMIDT の研究<sup>(46,48)</sup> (水中での太陽輻射線の吸収に関するもの) から 0.6 $\mu$  以上の長波 (熱線) は 10m の深さまでほとんど吸収されて通過し得るものは可視光線のみであることが認められており、これらから約 10m 以下の水温上昇に直接関与するものは熱伝導であることがわかる。そこで放熱期にはこの下方への熱伝導が継続されると共に、池面よりの放熱が日射による熱量吸収より大となり漸次冷却され、水温鉛直傾度が  $d\theta/dz=0$  に近づいて行く。いま観測前後約10日間の昼夜による気温日変化をみると、最高気温は流入点 (川添観測点) で 19.0~23.5°C、堰堤部観測点で 18.0~25.4°C、最低気温は前者 2.8~7.0°C、後者 9.0~17.0°C にわたり、その平均較差は川添流入点で 16.5°C、堰堤部観測点で 8.6°C となり、この貯水池上下流側において相当環境差があるのでその較差の変動が著しい。また池水温の日変化では気温の振巾より小さいが一応較差が存在すること<sup>(46)</sup> から、日中は若干受熱型として輻射吸収熱量が空中への移譲熱量より大となり、若干水中への熱移譲が行われるが、一方夜間は気温低下により吸収する輻射熱より空中放熱の方が大きく、表水層に上冷下暖の不安定層が発生、この表層密度が下層より大となって水の擾動を刺激し熱移譲の交換係数 eddy conductivity を増大して、やがてこの不安定層が解消する際多量の熱を放出し、この循環混合により

りて池水が次第に冷却されて行くことになる。

次に濁度分布 (第12表, 第61図参照) をみると、もはや水温成層とほとんど関係なく、川添流入点で濁度3.6ppm であったが、貯水位低下によりて上流側測点 No. 6 付近までの流心部両側新生沈着物が入水による侵蝕攪乱作用により若干濁度をまし、その背水点付近において 5ppm で流入し、池内においては min 3.2~max 30.5ppm の範囲にわたっており、また10月上旬の peak flow による高濁流入水や貯水位低下にもつづく上流側 sediment の侵蝕濁水の流動による影響が、そ

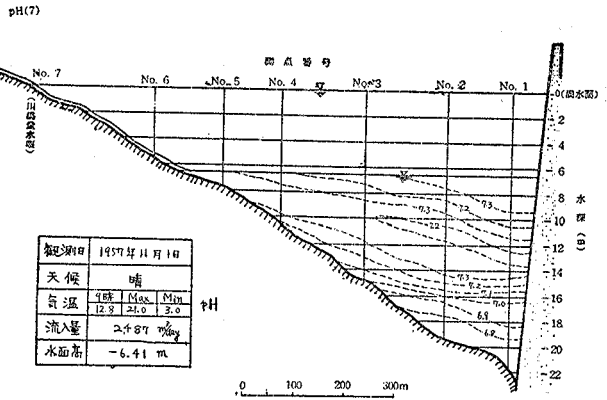


第61図 神内上池濁度分布図 (7)



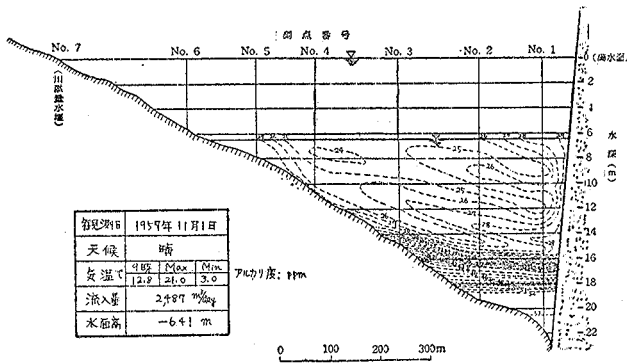
の下流側池底および堰堤付近に残存していることが知られる。

pH 分布 (第12表, 第62図参照) では, 流入水 pH は 7.3 であるのに対し, 池内においては min 6.8~max 7.3 にわたっているが, 水温躍層上限付近から下層池底に至る範囲において, 大体その池底勾配に沿ったところの傾斜した pH の成層 (上層高く, 7.3, 下層低い, 6.8,) がみられ, そのうち水温躍層付近 (水深約 8~10m) に弱い pH 躍層が存在している。また水温躍層上限付近より上層部, すなわち表水層の範囲においては, pH 値 7.3~7.2 の範囲内において流入水や池水循環混合の影響を受けて若干攪乱され, 1 部の pH 逆列成層 (上層低く下層高い) を示し, この表水層間において水温の影響が顕著である。



第62図 神内上池分 pH 分布図 (7)

7.0~7.5度 (7)



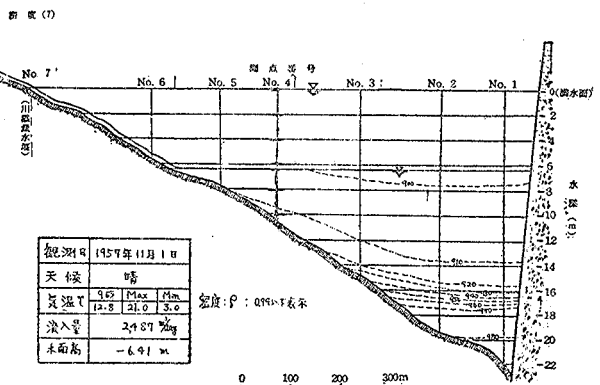
第63図 神内上池アルカリ度分布図 (7)

が認められることで, この躍層より上部表水層においては, pH と同じくそのアルカリ度成層が池水の循環混合により一部攪乱されている状態がみられる。

次に密度分布 (第12表, 第64図参照) であるが, 濁度 T の影響は高濁度の 1 部分に限られ, 密度は専ら水温差にもとづくこととなり, 前述水温分布と大体同じような成層状態を示し, しかも測点 No.2 付近から上流側にかけてその成層が傾いている。またこの密度分布からも水深約 9~11m 付近に躍層が残存していることが確認できる。

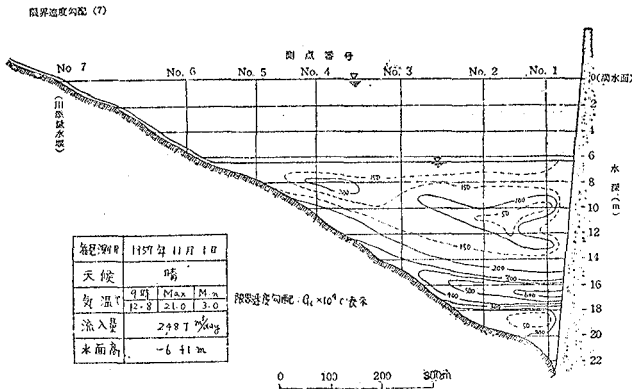
いまその密度鉛直分布状態をみると, 表層 min で約 0.99900 から堰堤付近最深部で max 0.99980 にわたっており, その密度勾配  $d\rho/dz$  をみると, 深さ 1m 当り測点 No.1 (1~454)

$\times 10^{-6}$ , No.2 (2~290)  $\times 10^{-6}$ , No.4 (16~61)  $\times 10^{-6}$  の範囲である, そのうち表水層 (0~9m) の平均値は, 測点 No.1 ( $20 \times 10^{-6}$ ), No.2 ( $30 \times 10^{-6}$ ), No.4 ( $35 \times 10^{-6}$ ) で全域平均として約  $28 \times 10^{-6}$  が得られる。また深水層 (11m 以下) の平均値は約  $30 \times 10^{-6}$  で表水層のそれと同じく密度勾配が小さいが, 躍層部分のそれすなわち平均鉛直安定度  $E_m$  は, 測点 No.1 ( $296 \times 10^{-6}$ ), No.2 ( $268 \times 10^{-6}$ ) で全域平均として  $282 \times 10^{-6}$  が得られる。この値は前回 (9



第64図 神内上池密度分布図 (7)

月24日)の躍層総平均 $367 \times 10^{-6}$ に比較すると、やや低減したことになり、躍層部分の stability が弱まりつゝあることがうかがえるが、それでもなお表水層や深水層のそれより次数が1次ほど高く、まだ躍層が池内水理現象に重要な影響を及ぼしていることが推察される。



第65図 神内上池限界速度勾配分布図 (7)

さいが、まだ表水層や深水層の約3倍以上の抵抗を示すものといえ、 $G_e$ 分布図(第65図)でもわかるように、前述の水温、密度あるいはアルカリ度分布の場合に躍層の存在が認められた水深9~11m付近に、その inflexion layer を中心にして、それぞれ、上層および下層に向けて  $G_e$  の小さくなっている限界速度勾配の成層がみられる。しかしこの  $G_e$  成層は上流側に向けて傾いており、またその上流側が流入水の影響により若干乱されている。

以上観測当日の流動状態を考えてみるに、前述したように観測当日前後の流入水は少く、僅か貯水容量の0.3%程度であるから、池内縦断面内の流動に対して、たいした影響を及ぼさないものとみえる。すなわち各水質分布図(水温、密度、アルカリ度および限界速度勾配分布など)で明瞭のように、観測当日の流入水は川添流入点から貯水位低下による背水点付近に至りて約  $16^{\circ}\text{C}$  であるので、これが池内に入りては同温度、同密度層を density under flow として流下して躍層付近に達し、この躍層部分にはなお流入水のもつ程度の乱流交換作用を消滅させるほど強い stability をもっているため、その抵抗を受けて躍層直上の同密度層を厚みのある stratified flow として流動し、この間循環期であるので昼夜による表層水の水温や密度の日変化にもとづいた表水層間の循環混合にあづかっていることが推察できる。

次に透明度分布(第12表参照)では、測点 No. 1 (2.70m), No. 2 (2.50m), No. 3 (2.50m), No. 4 (2.50m), で前回と大差ない。

第13表 沈 澱 堆 積 量 (3)  
(1957年 7月 2日~11月 1日)

観測日	期 間	日数	全 沈 澱 量 (g/m <sup>2</sup> )			平均日沈澱量(g/m <sup>2</sup> /day)			沈 澱 厚 さ (cm)		
			測点 No. 4	測点 No. 2	測点 No. 1	測点 No. 4	測点 No. 2	測点 No. 1	測点 No. 4	測点 No. 2	測点 No. 1
1957年 7月2日~	8月7日	37	1,127.242	676.656	30.466	18.288	0.593	0.350			
8月7日	8月8日~		5,453.222		44.335		2.058				
8月8日~	11月1日	86	596.496	397.664	6.936	4.624	0.298	0.106			

備考：沈澱箱による。 \*：測点 No.4 資料は11月1日に123日間沈澱量をまとめて観測した。

最後に7月2日~11月1日にわたる sediment 調査結果を示したのが第13表である。これを見ると、これまでの沈澱量(5~6月)に比較して、7月~10月にかけて頻発した洪水により相当多量の沈澱が認められる。いまこの資料では測点 No.4 における沈澱量のみが観測の都合により123日分(第3回目の8月7日観測ができず11月1日まで採取した)となっているので、この資料を他の測点 No. 2, No. 1 の資料を参考にして、一応 sediment 観測 No. 3 (7月2日~8月7日)を65%、観測 No. 4 (8月8日~11月1日)を35%に比例配分して、各測点の平均値を求めてみると、第14表のように第6,7報に示した5~6月頃の平均日沈澱量に対して7月頃で約16倍、8~10月頃で約

次に RICHARDSON number  $R_i$  から誘導された実測にもとづく計算値、すなわち限界速度勾配  $G_e \sqrt{|gE/\rho|}$  (第12表, 第65図参照) を用いて躍層の抵抗について考察してみよう。 $G_e$  の値をみると測点 No.1 で  $0.003 \sim 0.067 \text{sec}^{-1}$ , No.2 で  $0.005 \sim 0.053 \text{sec}^{-1}$ , No.4 は  $0.013 \sim 0.025 \text{sec}^{-1}$  の範囲であるが、その全域平均値は表水層で  $0.0144 \text{sec}^{-1}$ , 深水層で  $0.0155 \text{sec}^{-1}$  であるのに対し、躍層部分(9~11m)では、その平均値が測点 No.1 ( $0.0517 \text{sec}^{-1}$ ), No.2 ( $0.0512 \text{sec}^{-1}$ ) で全域平均として  $0.0515 \text{sec}^{-1}$  が得られる、この値は前回(9月24日)のそれ( $0.0596 \text{sec}^{-1}$ )より若干小

第14表 沈澱堆積量の総括

観測 No.		I	II	III	IV	総計	総平均
観測日		1957年6月4日	〃 7月1日	〃 8月7日	〃 11月1日		
期間		5月1日～ 6月4日	6月5日～ 7月1日	7月2日～ 8月7日	8月8日～ 11月1日		
日数		35	27	37	86	185	
全沈澱量 (g/m <sup>2</sup> )	測点No.4	250.000	143.333	(3,544.594)*	(1,908.628)**	5,846.555	
	〃 No.2	49.660	53.333	1,127.242	596.496	1,826.731	
	〃 No.1	36.550	41.000	676.656	397.664	1,151.870	
	平均	112.070	79.222	1,782.831	967.596	2,941.719	
日沈澱量 (g/m <sup>2</sup> /day)	測点No.4	7.143	5.308	(95.799)*	(22.193)**		32.611
	〃 No.2	1.419	1.975	30.466	6.936		10.199
	〃 No.1	1.044	1.518	18.288	4.624		6.369
	平均	3.202	2.934	48.184	11.251		16.393
沈澱厚 (cm)	測点No.4	0.154	0.139	(1.338)*	(0.720)**	2.351	
	〃 No.2	0.054	0.042	0.593	0.298	0.987	
	〃 No.1	0.039	0.034	0.350	0.106	0.529	
	平均	0.082	0.072	0.760	0.375	1.289	

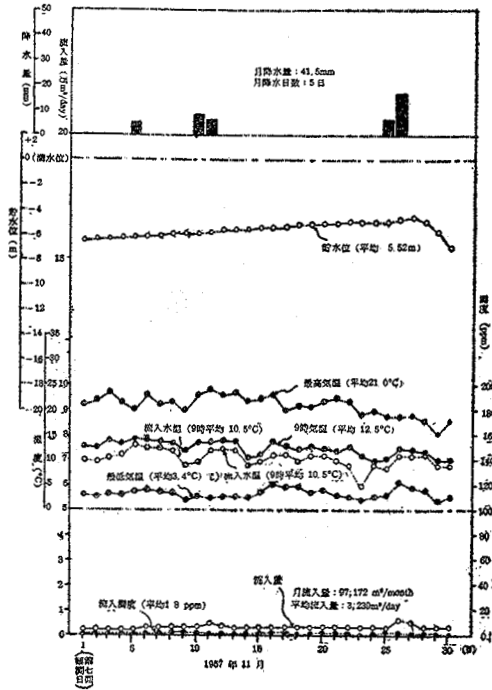
註：( ) 内の測点 No.4 資料は、第13表に示す測点 No.2, No.1 資料を参考にして、III, IV全期間(123日)実測資料を\* (65%), \*\* (35%) に一応比例配分して求めた推定値である。

4 倍の sediment を示している。この第14表にはこれまでの大体5～10月にわたる sediment 調査結果(第6報第5表, 第7報第8表および第8報第13表参照)を一応まとめてあり、これをみると春季から秋季にかけてその平均日沈澱量に時期別変化が認められるが、いまその全平均をみると約16.393 g/m<sup>2</sup>/day となり、これを第6報第6表に示した天然湖沼での沈澱量と比較してみると、その観測年次は異なるが、青木湖で平均 6.10g/m<sup>2</sup>/day, 木崎湖で平均 4.33g/m<sup>2</sup>/day あるいは中網湖で平均 13.06g/m<sup>2</sup>/day となり、これら天然湖沼に比して人工貯水池の沈澱量が一般に多量であるという一端がうかがえるだろう。しかしこの際7月頃(7月2日～8月7日)の沈澱量がとくに多量であったのは、第7報で述べたように、とくに7月18日早朝豪雨時の濁濁流入水 peak flow によるものと考えられ、これから流入浮遊物質の貯水池内沈澱阻止率 trap efficiency に関する問題については項を新ためて検討したい。

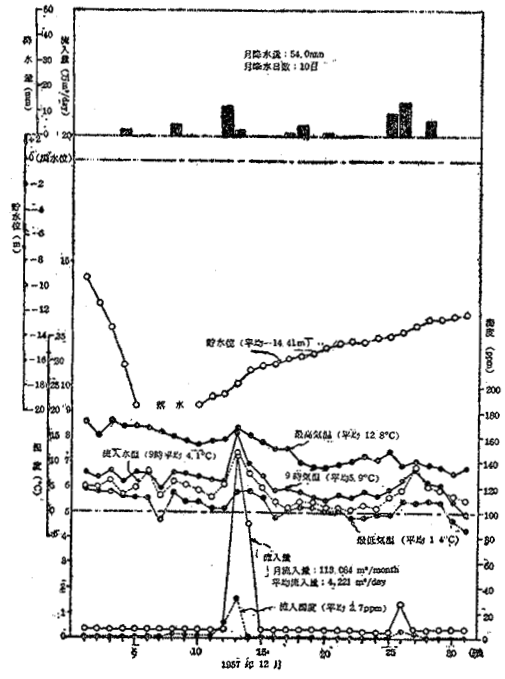
(b) 第8回(1958年2月3日)調査結果について(第15表, 第66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84 図参照)。

第8回観測としては、厳冬期の水理特性や前日の降雨(19.0mm)による濁濁流入水の影響などを追及するために、従来の縦断面内定測点 No. 1～No. 7 のほか、No. 3-A, No.4-A, No. 5-A, No. 6-A, No. 6-B 点についても各水質観測を行った。また測点 No. 1 および No. 2 については、その横断面内分布をみるため定測点 No. 1, No. 2 のほか No. 1-A (右岸側), No. 2-A (左岸側) および No. 2-B (右岸側) についても観測を行った。以上各測点については、水温、濁度、pH, アルカリ度などの水質項目のほか透明度測定も行ったが、さらに測点 No. 2 横断面内透明度測定は6点追加して計9点について行った。

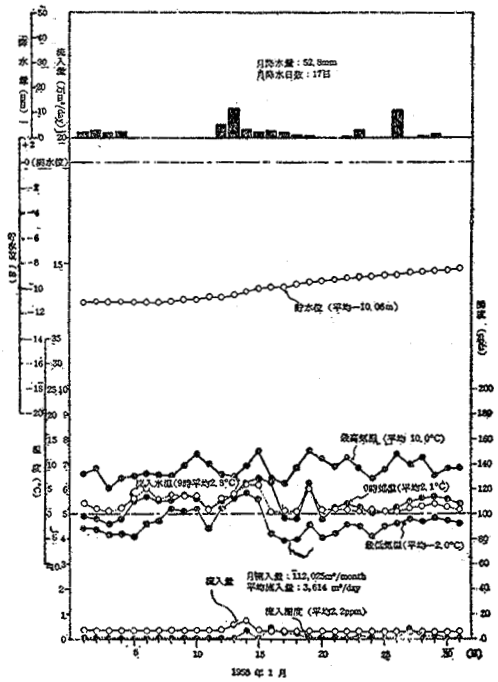
さて1957年11月～1958年2月にわたる主として冬季における川添観測点の水文事項について検討してみよう(第66, 67, 68, 69図参照)。まず気温は、各月平均値として11月(9時12.5°C, max21.0°C, min 3.4°C), 12月(9時5.9°C, max12.8°C, min1.4°C), 1月(9時2.1°C, max10.0°C, min -2.0°C), および2月(9時3.0°C, max11.1°C, min -0.8°C) のように厳冬期に向うにしたがって気温低下し、暖冬異変のため1月を谷として2月若干上昇の傾向がうかがえる。これに対して川添水量堰における平均9時流入水温は、11月(10.5°C), 12月(4.1°C), 1月(2.3°C) および2月(2.2°C) のごとくなり、気温のそれに近づいている。降水状況をみると、11月(5日, 41.5mm), 12月(10日, 54.0mm), 1月(17日, 52.8 mm) および2月(8日, 52.2mm) のごとく一般に降水量少く、流入水量も11月(97,172m<sup>3</sup>/month, 3,239m<sup>3</sup>/day), 12月(113,084m<sup>3</sup>/month, 4,221m<sup>3</sup>/day),



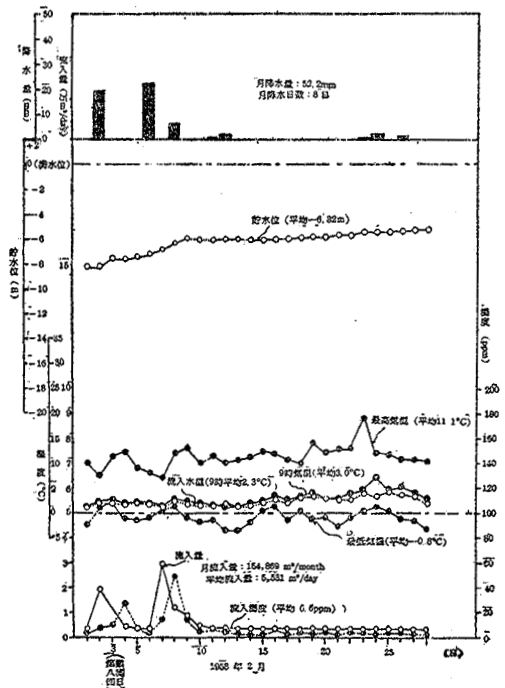
第66図 神内上池水文調査 (8)



第67図 神内上池水文調査 (9)



第68図 神内上池水文調査 (10)



第69図 神内上池水文調査 (11)

1月 (112,025m<sup>3</sup>/month, 3,614m<sup>3</sup>/day) および 2月 (154,869m<sup>3</sup>/month, 5,531m<sup>3</sup>/day) のように、冬季を通じて大体過去2ヵ年平均流入量 8,147 m<sup>3</sup>/day の約半で少い。したがって流入濁質量も過去の7, 9, 10月に比較して少く、平均9時流入濁度は11月 (1.8ppm), 12月 (2.7ppm), 1月 (2.2ppm), 2月 (6.6ppm), 流入濁質量は11月 (1,633,923g/month, 533,307g/day), 12月 (3,852,691g/month, 124,603 g/day), 1月 (2,276,243 g/month, 734,271g/day), 2月 (1,489,966g/month, 531,963g/day)となり、冬季における sediment 問題に関するトラブルは、さほど懸念するにたりない感がある。次に貯水位は、右岸側導水隧道施工のため常に満水面下約5m 以上になるよう放水したため、平均貯水位は11月 (-5.52m), 12月 (-14.91m), 1月 (-10.06m), 2月 (-6.32m) のようになった。

次に調査日の水文事項 (第69図参照) をみると、流入水量は前日の降雨 (19.0mm) による peak flow がやや減水して 11,905 m<sup>3</sup>/day となり、相当多量で、貯水位は満水面下7.82m であった。気温をみると川添観測点で9時 2.8°C, max 11.2°C, min 2.0°C, また堰堤部観測点で9時7.0°C, max 12.0°C, min 3.0°C であり、観測時 (12~16時) は 9.9~11.2°C で、これまでの観測日中最低気温となり、採水観測に相当困難を伴った。流入水質をみると、川添量水堰において水温 8.2°C で気温 (9.9°C) より 1.7°C 低く、濁度は前日降雨による peak flow により 9.8ppm を示しやや高く、pH は 7.4 ppm, アルカリ度は 49.0 ppm であった。

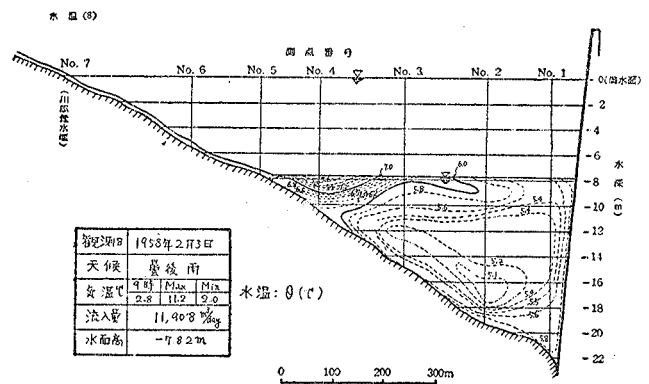
さて今回の水質観測並びに計算値の結果を示したのが第15表であり、これから各水質の等値分布図を作製したのがそれぞれ第70図(水温分布図), 第71図(濁度分布図), 第80図 (pH 分布図), 第81図 (アルカリ度分布図), 第82図 (密度分布図) 第84図(限界速度勾配分布図)であり、また濁濁流の偏向状況を示したのが第72図 (濁濁流平面図) および第73図 (濁濁流の非対称横断面図) となる。

まず水温分布第15表, 第70図参照についてみると、流入水温は川添量水堰で 8.2°C でこれまでの観測日中最低を示すが、貯水位低下による背水点付近 (No. 5-A) に至りて7.8°C に下り池水中に流入している。池内においては池表水温 5.6~7.8°C (平均6.8°C) で前回 (11月1日) より平均約 9.7°C も低くなっており、また観測時気温より3.2~5.1°C (平均4.4°C) 低いが、これに対して池底付近水温も 50~8.0°C (平均6.0°C) で大差なく、厳冬季に至りて11月頃まで認められた水温躍層が完全に消滅していることがわかる。

いまその各測点における鉛直面内 max, min

の水温較差をみると、測点 No. 1 (0.4°C), No. 2 (0.9°C), No. 2-A (0.4°C), No. 2-B (0.9°C), No. 3 (0.9°C), No. 4 (1.7°C), No. 4-A (1.1°C), No. 5 (0.2°C) であり、また水温の鉛直傾度  $d\theta/dz$  をみると、1m 当り平均値として測点No. 1 (0.04°C), No. 2 (0.17°C), No. 2-A (0.08°C), No. 2-B (0.11°C), No. 3 (0.19°C), No. 4 (0.57°C), No. 4-A (0.70°C), No. 5 (0.40°C) なる値が得られ、この際池内全域 (定測点 No. 1~No. 5 全平均) では平均約 0.16°C となり一般に小さく、大体その分布が鉛直になっている。ここで注目すべきことは、測点 No. 3 付近より下流側においてその傾度は極めて小さいが、一応水温の逆列成層 inverse stratification が認められることである。すなわち冬季の浅い凍湖にみられる三層 (表層, 中層および底層)<sup>(2)</sup> に似た水温成層がみられ、この際中層が最も低く (約5.1~5.4°C), 表層および底層ではそれぞれ池表および池底に向かってやや高く (約5.5~6.0°C) になっている。これは、後述するように前日の降雨による高濁低温な高速流入水が表層および底層流として流下しているための一時的な現象と考えられ、やがてこの不安定層は解消することになる。

次に濁度分布 (第15表, 第71, 72, 73図参照) をみると、これまでの各観測でみられなかった特異な濁濁流の流動状態が明確に認められる。すなわち前日の降雨がもたらした高濁流入水、および貯水位低下による背水点付近新生沈澱物の侵蝕攪乱によった濁濁水が、測点 No.3 と No.2 の中間点付近 (この付近から細長い狭谷型の貯水池断面が急にその巾や深さを増し、さらにその流心部が南東方向から急に直角な北東方向に彎曲して堰堤方向に向って

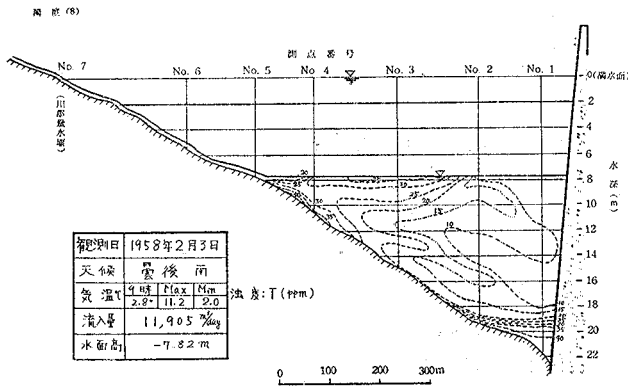


第70図 神内上池水温分布図 (8)

第15表 神内上池水質調査並びに計算表 (8)  
(1958年2月3日, 曇後小雨, 気温9.9~11.2°C, 貯水位満水面下7.82m)

観測点	水深 Z(m)	水温 θ(°C)	濁度 T (ppm)	密度 ρ <sub>θT</sub>	鉛直安定度 E=dρ/dz	限界速度勾配 G <sub>c</sub> =√(gE/ρ)	pH	アルカリ 度(ppm)	備 考
No. 1	0	5.6	8.1	1.00006481			7.3	55.0	気温: 10.5°C 透明度: 1.90m
	1	5.6	8.3	1.00006492	-0.00000011	0.0010	7.4	58.0	
	2	5.5	8.5	1.00006806	-0.00000317	0.0056	7.4	65.0	
	3	5.4	9.6	1.00007162	-0.00000353	0.0060	7.3	57.0	
	4	5.4	10.0	1.00007184	-0.00000022	0.0015	7.2	55.0	
	5	5.4	10.7	1.00007222	-0.00000038	0.0019	7.2	55.0	
	6	5.4	14.8	1.00007443	-0.00000221	0.0047	7.3	55.0	
	7	5.4	10.2	1.00007195	+0.00000248	0.0049	7.4	56.0	
	8	5.4	7.4	1.00007044	+0.00000151	0.0038	7.2	54.0	
	9	5.5	7.6	1.00006760	+0.00000284	0.0053	7.3	56.0	
	10	5.6	7.3	1.00006438	+0.00000322	0.0057	7.4	58.0	
	11	5.6	17.3	1.00006978	-0.00000540	0.0073	7.3	55.0	
	12	5.6	38.0	1.00008096	-0.00001118	0.0105	7.3	50.0	
	13	5.7	40.2	1.00007897	+0.00000199	0.0044	7.3	50.0	
14	5.8	42.0	1.00007664	+0.00000233	0.0048	7.3	50.0		
No. 1-A	0	5.6	9.0	1.00006530			7.3	58.0	透明度: 1.90m
No. 2	0	5.6	7.8	1.00006465	+0.00000461	0.0067	7.3	54.0	気温: 10.7°C 透明度: 0.80m
	1	5.9	17.6	1.00006004	-0.00000180	0.0042	7.3	57.0	
	2	5.8	14.6	1.00006184	-0.00001032	0.0101	7.4	56.0	
	3	5.4	10.6	1.00007216	-0.00000108	0.0033	7.3	57.0	
	4	5.4	12.6	1.00007324	-0.00000250	0.0049	7.3	54.0	
	5	5.2	7.0	1.00007574	+0.00000027	0.0016	7.3	57.0	
	6	5.2	6.5	1.00007547	-0.00000200	0.0044	7.4	57.0	
	7	5.2	10.2	1.00007747	-0.00000717	0.0083	7.4	55.0	
	8	5.1	18.7	1.00008464	+0.00000427	0.0065	7.3	58.0	
	9	5.1	10.8	1.00008037	-0.00000281	0.0053	7.3	58.0	
	10	5.1	16.0	1.00008318	+0.00001950	0.0138	7.4	60.0	
	11	5.8	18.0	1.00006368	-0.00000892	0.0093	7.2	54.0	
12	6.0	47.4	1.00007260			7.2	51.0		
No. 2-A	0	5.6	7.1	1.00006427	-0.00000377	0.0061	7.3	54.0	気温: 10.7°C 透明度: 1.20m
	1	5.5	8.4	1.00006804	-0.00000005	0.0007	7.3	56.0	
	2	5.5	8.5	1.00006809	-0.00000321	0.0057	7.3	58.0	
	3	5.4	9.0	1.00007130	-0.00000260	0.0051	7.4	57.0	
	4	5.3	8.6	1.00007390	-0.00000233	0.0048	7.3	55.0	
5	5.2	7.9	1.00007623			7.3	55.0		
No. 2-B	0	5.9	19.2	1.00006091	-0.00000245	0.0049	7.3	53.0	気温: 10.7°C 透明度: 0.55m
	1	5.8	17.4	1.00006336	+0.00000130	0.0036	7.3	55.0	
	2	5.8	15.0	1.00006206	-0.00000583	0.0076	7.4	56.0	
	3	5.6	13.8	1.00006789	+0.00000066	0.0025	7.3	57.0	
	4	5.5	6.9	1.00006723	-0.00000873	0.0092	7.3	58.0	
	5	5.2	7.4	1.00007596	-0.00001186	0.0107	7.3	57.0	
	6	5.1	24.6	1.00008782	-0.00000314	0.0056	7.3	54.0	
	7	5.1	30.4	1.00009096	-0.00000429	0.0065	7.3	56.0	
8	5.0	33.8	1.00009525			7.4	58.0		
No. 3	0	6.1	38.0	1.00006386	-0.00000245	0.0049	7.3	52.0	気温: 10.8°C 透明度: 0.40m
	1	5.9	39.2	1.00006631	-0.00000472	0.0068	7.3	52.0	
	2	5.7	25.5	1.00007103	-0.00000122	0.0035	7.3	55.0	
	3	5.5	16.2	1.00007225	-0.00000781	0.0087	7.3	55.0	
	4	5.2	15.0	1.00008006	-0.00000356	0.0060	7.3	56.0	
	5	5.2	21.6	1.00008362	+0.00000903	0.0094	7.4	58.0	
	6	5.4	15.1	1.00007459	+0.00000346	0.0058	7.3	55.0	
7	5.6	19.8	1.00007113			7.2	55.0		
No. 3-A	0	6.7	36.7	1.00003868			7.3	52.0	透明度: 0.50m
No. 4	0	7.8	31.2	0.99997961	-0.00001566	0.0124	7.3	51.0	気温: 10.3°C 透明度: 0.40m
	1	7.5	29.2	0.99999527	-0.00005551	0.0233	7.2	52.0	
	2	6.3	28.0	1.00005078	-0.00001200	0.0114	7.3	47.0	
	3	6.1	36.0	1.00006278			7.3	52.0	
No. 4-A	0	7.5	15.4	0.99998782	-0.00004875	0.0219	7.2	46.0	気温: 11.0°C 透明度: 0.60m
	1	6.7	32.8	1.00003657	-0.00004328	0.0206	7.3	48.0	
	1.5	6.4	49.2	1.00005821			7.3	51.0	
No. 5	0	7.8	15.0	0.99997086	+0.00002028	0.0141	7.3	46.0	気温: 11.0°C 透明度: 0.50m
	0.5	8.0	18.0	0.99996072			7.4	45.0	
No. 5-A	0	7.8	14.0	0.99997032			7.3	47.0	
No. 6	0	7.8	10.9	0.99996865			7.3	47.0	気温: 11.2°C
No. 6-A	0	8.2	11.8	0.99994513			7.3	48.0	気温: 10.8°C
No. 6-B	0	8.2	12.0	0.99994524			7.3	48.0	気温: 10.2°C
No. 7	0	8.2	9.8	0.99994405			7.4	49.0	気温: 9.9°C

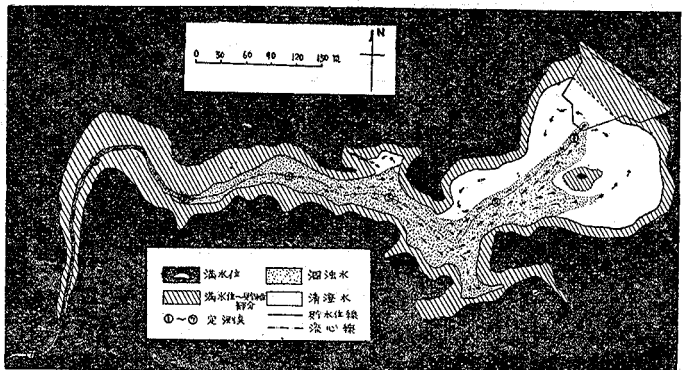
る)までは平面的(第72図参照)にみても(この際測点 No.3 の左岸側枝節すなわち広田池からの流入部においては若干濁濁していない)または縦断的(第71図参照)にみても池水全域にわたって濁濁(濁度約20~40ppm)しているが、前述の急曲点付近から下流側をみると、縦断的(定測点を連ねた流心部分, 第71図参照)には表層および底層に沿った濁濁流(濁度約 10~40 ppm)が認められ、平面的(第72図参照)には、急曲点右岸側の枝節部分まで濁濁流が達しさらに急曲点より下流側においてその濁濁流が流心部付近より池水右岸側にわたって右偏向し、明瞭な濁濁偏流として堰堤方向(斜樋管により放水)に流下し、途中に障害物たる島の抵抗を受けて2分され左側濁濁流はすでに堰堤付近に達している状況がうかがえる。またこの濁濁流を測点No.2 について横断的にみると、第73図に示す濁度



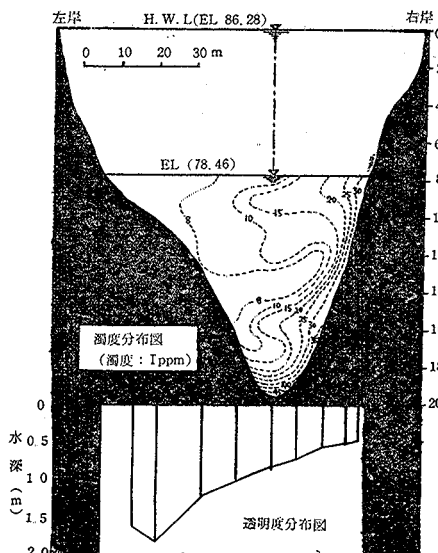
第71図 神内上池濁度分布図(8)

並びに透明度分布でわかるように、濁濁流が右岸側池壁に沿って右偏向し、その右岸側池岸に至るほど濁度は大、透明度は逆に小となって顕著な濁濁流右偏向状態を示している。

以下これら濁濁流に関する上述の結果について若干考察してみよう。先ず測点 No. 3 から No. 2 に至る中間部の左折彎曲点において、濁濁流が右偏向流となることは、慣性力はもちろんのこと地球自転にもとづく見かけ上の偏向力すなわち CORIOLIS の力などにより説明できるだ



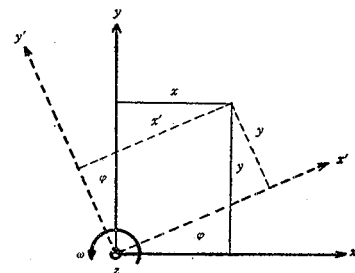
第72図 神内上池における濁濁流の右偏向平面図(1958年2月3日)



第73図 濁濁流の右偏向を示す濁度並びに透明度の非対称分布図(測点 No.2 横断面, 1958年2月3日)

ろう。

一般に地球上に固定された座標軸に関する運動を取扱う場合には、この座標軸は地球自転によりたえず回転するから、回転座標系として考究する必要がある。いま第74図において静止座標系を  $x, y, z$ , 回転座標系を  $x', y', z'$  となし、またある力の静止座標系に対する分力を  $X, Y, Z$  となし、回転座標系に対する分力を  $X', Y', Z'$ , さらに  $u', v', w'$ , を

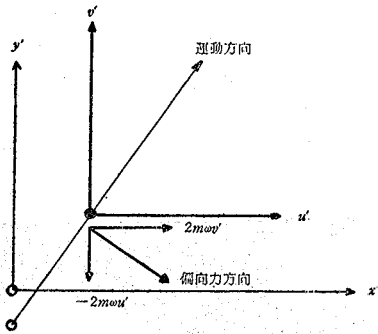


第74図 静止ならびに回転座標系の関係(原点とZ軸が一致した場合)

回転座標系に対する分速度,  $m$  を質量とする。この際両座標系のZ軸および原点が一致し、回転座標系がZ軸の周りを一定の角速度  $\omega$  で回転する場合を考えると(20)式のごとき運動方程式<sup>(40)</sup>を得る。す

$$\left. \begin{aligned} m \frac{du'}{dt} &= X' + 2m\omega v' + m\omega^2 x' \\ m \frac{dv'}{dt} &= Y' - 2m\omega u' + m\omega^2 y' \\ m \frac{dw'}{dt} &= Z' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(20)$$

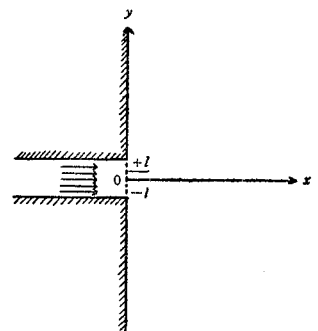
なわち、回転座標系では、それぞれ分力  $2m\omega v'$ ,  $-2m\omega u'$ ,  $0$  および  $m\omega^2 x'$ ,  $m\omega^2 y'$ ,  $0$  なる2つの見掛けの力が出現するわけで、後者が座標  $x'$ ,  $y'$  のみが関係したいわゆる遠心力であり、前者が回転座標系に対する速度  $u'$ ,  $v'$  のみが関係したいわゆる CORIOLIS の力でこれが地球自転による偏向力となる。この偏向力は速度方向（運動方向）と直角右向き（南半球ではZ軸が下向きとなるので左向き）となることは第75図に示され、その力の大きさは(21)式に示される。



第75図 地球自転による偏向力(北半球)

$$\sqrt{(2m\omega v')^2 + (-2m\omega u')^2} = 2m\omega \sqrt{u'^2 + v'^2} \dots\dots\dots(21)$$

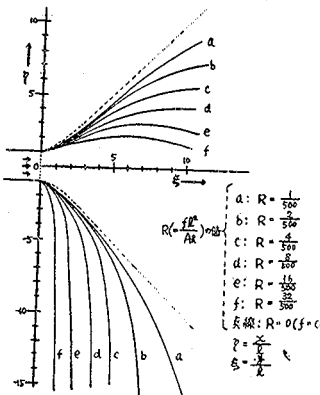
従来、地球自転が河川に及ぼす影響に関する問題が論議される場合、このような見掛け上の偏向力すなわち CORIOLIS の力（仏数学者 CORIOLIS にちなんでいる）で説明された。FEHLMAN(1948), PRITCHARD (1952), ELLIOTT, TRESSLER & MYERS (1952) や BATES (1953) による実例<sup>(50,51)</sup>, FOREL (1895), BUSSART (1948) による例<sup>(52)</sup>, または BOUNEFILLE (1957)<sup>(53)</sup> や高野<sup>(54,55)</sup> (1954, 1955) による実験解析など幾多の報告がある。いま貯水池流入口や河口の場合について考えるに、第76図に示すごとく、 $x$ 軸を、真



第76図

直ぐな池岸線（または海岸線）と考えた  $y$  軸に直角にとり、貯水池流入口（または河口）である  $(-l < y < +l)$  の中央原点に  $z$  軸が鉛直下向きにとられ、 $u, v, w$  はそれぞれ  $x, y, z$  方向における速度分値、 $\epsilon_h, \epsilon_v$  をそれぞれ水平および鉛直方向の渦動粘性 eddy viscosity,  $f$  を CORIOLIS parameter,  $p$  を圧力、 $\rho$  を密度とすると、CORIOLIS の力を考慮した運動方程式および連続方程式は(22)式<sup>(55)</sup>のようになる。高野<sup>(54,55)</sup>は実測並びに理論的解析によりて、地球

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_h \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) u + \frac{\partial}{\partial z} \left( \epsilon_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \rho f v &= \frac{\partial p}{\partial x} \\ \epsilon_h \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) v + \frac{\partial}{\partial z} \left( \epsilon_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \rho f u &= \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(22)$$

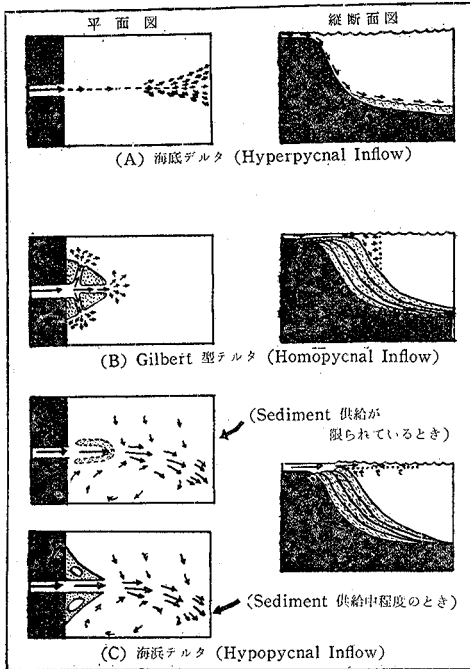


第77図 河口表層部均一層の境界線 (Takano)

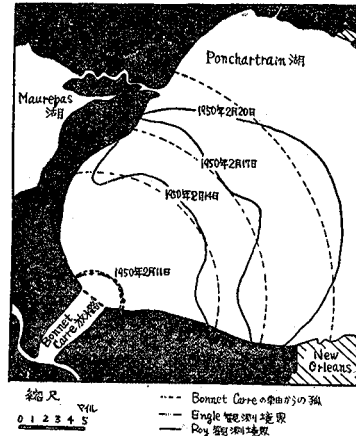
自転が河口から放出する密度の小さい河川流の海方向への運動を、北半球では初期方向の右側（また南半球では初期方向の左側）に偏向する原因となることを確かめているが、この際河口における表層均一層の境界として、それぞれ  $R (= fl^2/\epsilon_h) = 1/500, 2/500, 4/500, 8/500, 16/500, 32/500$  の場合におけるこの影響を図解したものを示すと第77図のごとくで、密度の小なる河水が密度大なる海水中に流入して右偏向する傾向がうかがえる。また delta formation に関する BATES<sup>(50,51)</sup> の3基本型をみると第78図に示すように、(A)海底デルタ (Hypopycnal inflow) (B) GILBERT 型デルタ (Homopycnal inflow), および (C) 海浜デルタ (Hypopycnal inflow) に分類している。この際 Hypopycnal inflow は密度の大きい水が流入する場合で、流送土砂を含んだ流入水は濁濁密度流となり、貯水池や海底狭谷底部に水面よりずっと低い海底デルタ submarine delta を形成する場合で、Homopycnal inflow は清澄池水中に河川の場合のように、密度のひとしい水が流入し、河川と水域との間に鉛直な前面境界ができ、これが徐々に河口から放射状に拡がるた



めに、流出速度が激減して流送土砂の大部分を開口を中心とした半円内に堆積する場合であり、このような堆積型により GILBERT (1885) の示した典型的な top-set beds, fore-set beds および bottom-set beds が発達するに至る。たとえばその著例として第79図に示す Ponchartrain 湖における表面境界の進展例があげられている。また Hypopycnal inflow は河川が海洋に注ぐ場合のように、流送土



第78図 水域流入とデルタ堆積に関する基本型畧図 (Bates and Freeman)



第79図 Louisiana 州のPonchartrain 湖を通過する河水と湖水の表面境界前進状況 (1950年2月11日~20日)

砂をもった密度の小さい水が、密度の大きい水で充された水域の表面に流入する場合で、もし流送土砂が小なるときは、河口から離れて半月形の砂洲を形成し、流送土砂中程度のときは、カस्प型すなわち鳥の肢のようなデルタを形成するに至る。いま神内上池の濁濁流入についてみると、成層期にみとめられた濁濁潜行密度流は明らかに Hyperpycnal inflow の場合であるが、今回の観測では Homopycnal inflow に匹敵することが考えられ冬季の池水密度勾配小さい時には、いわゆる GILBERT 型デルタ形成が進展することになる。

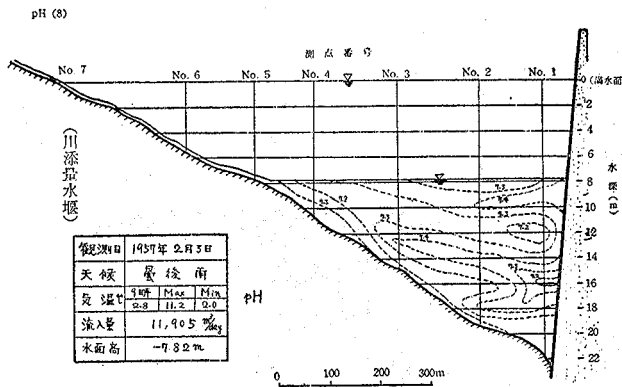
以上河川流動におよぼす CORIOLIS の力の影響について述べたが、今回の彎曲点下流側は右岸側肢節部分を含めて、その断面が急に拡大されているので、濁濁流の右偏向の一原因として以上のごとき CORIOLIS の力も一応考慮されてよいのではないだろうか。もちろんこの場合はほぼ直角に左折しているので、右偏向の主動力は慣性力によるものと考えられるが、大観的にみて、左彎曲並びに水路拡大による濁濁流の全右偏向力を  $F$  とすると、慣性力 ( $+Fi$ ) と CORIOLIS の力 ( $+Fc$ ) との合力によることになる。

さらに第73図を検討してみると、彎曲点においては流心部でほぼ直角に左折しており、彎曲後の測点 No.2 の横断面濁度分布図で、右岸側に偏向し池岸に達した濁濁流が、その表層部において下向、底層部において上向に流動している様相がうかがえるが、これは本間博士<sup>(86)</sup>の河川彎曲部における水流に関する模型実験結果(この場合は左彎曲90°)から考察すると、表層部流線はほぼ直角まで曲らず、右岸壁につき当って下向し、底層部流線は反対にほぼ直角以上に曲って彎曲部左岸壁に沿って上向となり、曲りの部分から下流においていわゆる螺旋線流を生じている現象を意味するものといえよう。

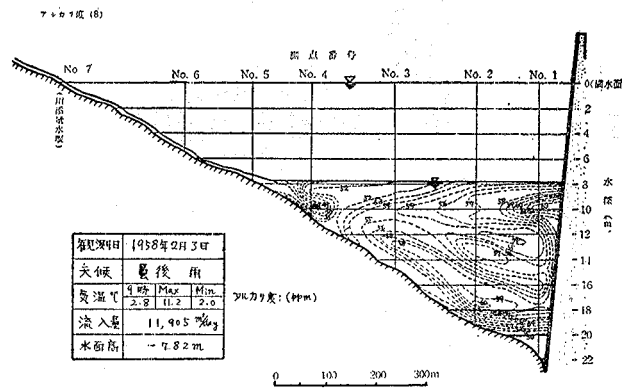
なお彎曲後の偏向濁濁流が、池水全域に拡散されずしてほぼ直線的に下流側堰堤方向に流下しているのは、池内流速が、北東風による吹送流や樋管による放水にもとづいて相当大なる値を示したことによるものと考えられる。

次に pH 分布 (第15表, 第80図) であるが、川添流入点の pH は 7.4 であるのに対して、当日背水点において 7.3 となり、池内では 7.2~7.4 の範囲で、一般に水温分布とおなじようにその差が小さいが、それでも一応水温や濁度分布でみられるように濁濁流の流動方面を示すがごとき分布をなしている。

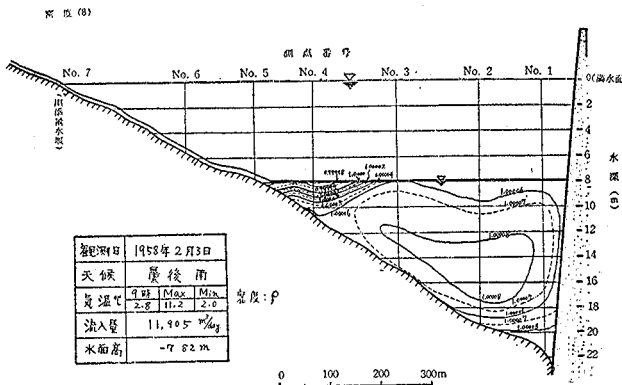
アルカリ度分布 (第15表, 第81図参照) では川添流入点で 49.0ppm, 当日背水点で 46.0ppm となるが、池内においては水温の影響著しく、約 46~65ppm の範囲にわたり、これまでの観測中最高値を示し、しかも前述 pH とは



第80図 神内上池 pH 分布図 (8)



第81図 神内上池アルカリ度分布図 (8)



第82図 神内上池密度分布図 (8)

密度を示す4°Cに近づいており、しかも高濁度のため流入付近を除き、ほとんど密度1以上を示してこれまでの観測中最大密度となった。しかも密度差が小さく、その密度勾配  $d\rho/dz$  をみると深さ1m当りの平均値で測点 No.1 ( $2.9 \times 10^{-6}$ ), No. 2 ( $4.6 \times 10^{-6}$ ), No. 2-A ( $2.4 \times 10^{-6}$ ), No. 2-B ( $4.8 \times 10^{-6}$ ), No. 3 ( $4.6 \times 10^{-6}$ ), No. 4 ( $27.7 \times 10^{-6}$ ), No. 4-A ( $21.0 \times 10^{-6}$ ), No. 5 ( $20.3 \times 10^{-6}$ ) となり、その定測点の全域平均値としては  $6.53 \times 10^{-6}$  が得られ、とくに上流側を除き測点 No. 3 より下流側では、その密度差は  $10^{-6}$  の order 程度で、全く不安定な状態を示している。

次に限界速度勾配  $G_\theta$  の分布 (第15表, 第84図参照) をみても、その平均値は測点 No. 1 ( $0.0048 \text{ sec}^{-1}$ ), No. 2

逆にその差が非常に大きく現われている。またその分布状態も濁濁水の流動を示すがごとき様相を示していることは、他の各水質分布と大体同じであるが、ただ測点 No.2 より下流側で水深10~12mの範囲に相当アルカリ度傾度 (2mにつき約8ppm, 1m平均として約4ppm) の高いアルカリ度躍層がみられる。

次は密度分布 (第15表, 第82, 83図参照) であるが、いま第6報で誘導した実用公式(15)(16)により、水温  $\theta$  と濁度  $T$  が密度  $\rho$  や鉛

$$\rho_{\theta c} = 1 - (6\theta^2 - 36\theta - 47 - 0.598nT) \times 10^{-6} \dots\dots\dots(15) \text{再出}$$

$$E = \frac{d\rho_{\theta c}}{dz} = \left\{ (36 - 12\theta) \frac{d\theta}{dz} + 0.598n \frac{dT}{dx} \right\} \times 10^{-6} \dots\dots\dots(16) \text{再出}$$

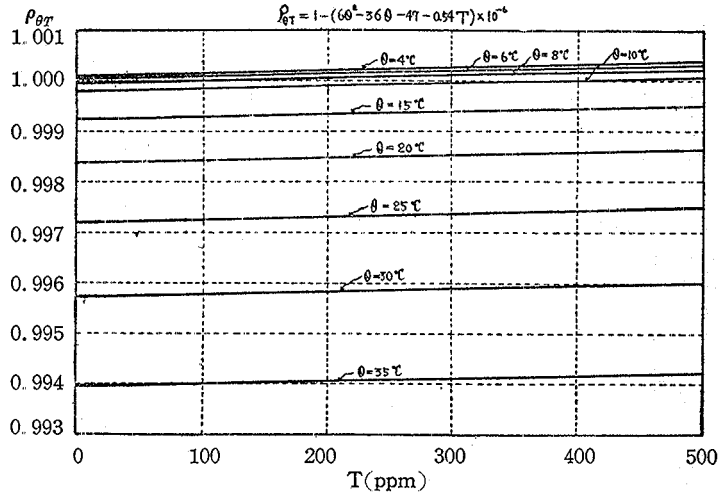
直安定度  $E$  に及ぼす影響を計算検討してみよう、もちろん粉末度係数  $n$  = 浮遊物濃度 (ppm)/濁度 (ppm) の値の大小にもよるが、一般に濁度  $T=100$  ppm 以下の場合には、その濁度の値は密度にたいした影響を与えなく、密度差は専ら水温差により規定されることが了解できる。たとえば本調査で採用した  $n=0.908$  (Coefficient of finenessはGRASSYによると普通0.5~2.0の範囲という(57))を用いた場合の(17)式により密度  $\rho$  と水温  $\theta$  および濁度  $T$  との関係を图示したのが第83図で

$$\rho_{\theta c} = \rho = 1 - (6\theta^2 - 36\theta - 47 - 0.54T) \times 10^{-6} \dots\dots\dots(17) \text{再出}$$

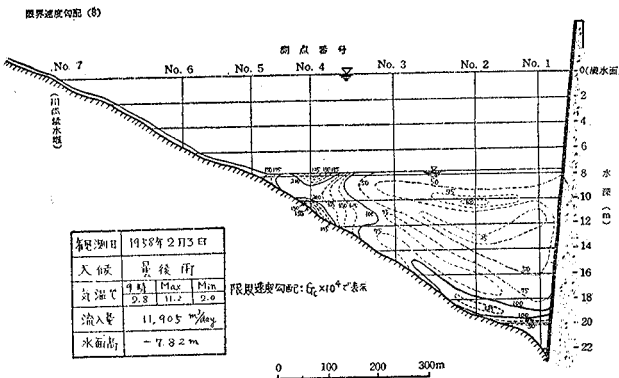
あり、その様相がよくわかる。しかるに今回の観測結果をみると、前述のように鉛直内水温差が小さく、定測点全域平均でその水温傾度は0.16°C程度であるから、この程度の水温差による  $\rho$  の差は  $10^{-6}$  の order であるから、この際約8ppm以上の濁度差があると、 $\rho$  の差は  $10^{-5}$  の order となり、直ちにバランスが破れるという不安定な状態を示している。

さて密度分布をみると、池水温も大体最大

(0.0065 sec<sup>-1</sup>), No. 2-A (0.0045 sec<sup>-1</sup>), No. 2-B (0.0063 sec<sup>-1</sup>), No. 3 (0.0064 sec<sup>-1</sup>), No. 4 (0.0157 sec<sup>-1</sup>), No. 4-A (0.0213sec<sup>-1</sup>), No. 5 (0.0141sec<sup>-1</sup>) となり, 定測点全域平均として  $G_e = 0.0068 \text{ sec}^{-1}$  が得られ, とくに測定 No.3 より下流側においては大体  $G_e$  の値が  $10^{-3}$  の order で小さく, 乱流交換の容易なことを意味している. このことは, 測点 No. 2 上流の彎曲点付近までは, 濁濁流入水が池水全域 (縦横断的に) にわたって拡散され, これまでしばしば観測された濁濁潜行密度流の流動状態と大いに異なることから了解



第83図 ρ と θ および T との関係



第84図 神内上池限界速度勾配分布図 (8)

る様相がうかがえる. また測点 No. 3~No. 2 の中間, 左折彎曲部においては, 主として慣性力や CORIOLIS の力により右偏向となり, 右岸側肢節方向流やまた急拡大の下流側では流心部より右岸側に偏した濁濁偏向流として縦断的には表層および底層流として流下しているものと考えられる.

最後に透明度分布 (第15表, 第73図参照) では, 測点 No.1 (1.90m), No.2 (0.8m), No.2-A (1.20m), No.2-B (0.55m), No.3 (0.40m), No.3-A (0.5m), No.4 (0.40m), No.4-A (0.60m), No.5 (0.50m) となり, またその定測点平均として, 0.88m が得られ濁濁流のため一般に透明度が小さい. また縦断的には上流側ほど透明度小さく, 測点 No. 2 横断においては濁濁流右偏向の影響で右岸側ほど透明度が小さい傾向を示している.

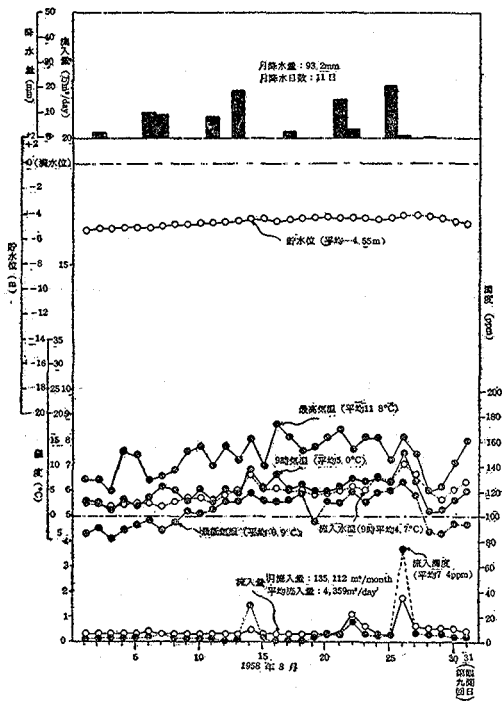
(i) 第9回 (1958年3月31日) 調査結果について (第16表, 第85, 86, 87, 88, 89, 90, 91図参照).

今回の観測は周年変化最後の観測として, 定測点 No. 1~No. 7 について, それぞれ水温, 濁度, pH, アルカリ度および透明度など各水質観測を行った.

さて川添観測点における3月の水文事項 (第85図参照) をみると, 先ず気温は漸次上昇傾向をたどるが, 3月末頃において急に低下し, その平均値として9時 5.0°C, 最高 11.8°C, 最低 0.9°C を示した, これに対して川添観測点の平均9時流入水温は4.7°C でまだ冷いが, それでも1, 2月のそれより平均約2.0°C 上昇している. 降水量は93.2 mm (11日) で冬季より多量であったが, その流入量は 135, 112m<sup>3</sup>/month で平均 4, 359m<sup>3</sup>/day となり過去2カ年平均流入量 (8, 147m<sup>3</sup>/day) の約1/2で極めて少い. しかも月流入量約 1~4万 ton 範囲の流入が3回あった外はほとんど約 5, 000m<sup>3</sup>/day 以下であり, したがって流入濁質をみると, その平均流入濁度 7.4ppm で流入濁質量は 1, 847, 133 g/month (平均 59, 585g/day) となり, 夏季洪水期におけるそれと比較すると概して小さい. 貯水位

できる.

以上により今回の流動状態を検討してみるに, 各水質分布図その他からわかるように観測当日の流入は, 前日の降雨により過去2カ年平均流入量を上廻り 11, 905m<sup>3</sup>/day で相当多量であり, しかも貯水位はこれまでの観測日を通じて最低で満水面下 7.82m まで下っており, また池内における水温, 濁質濃度 (濁度) にもとづく密度分布にもあまり差が認められないので, この際の低高温濁濁流入水は池内に流入後, 細長い峡谷型の貯水池という特異性にも影響されて, 縦横断的にみて池水全域にわたり循環混合しながら流動している.



第85図 神内上池水文調査 (12)

高く、これは前回 (2月3日) のそれ (6.8°C) より平均約 4.8°C 高くまた観測時気温 14.5~15.0 (平均 14.8°C) より平均 3.2°C 低くなっている。また池底付近水温は 6.2~10.0°C (平均 7.8°C) であり、各測点における max, min 水温較差をみると、測点 No. 1 (5.6°C), No. 2 (5.0°C), No. 3 (4.8°C), No. 4 (3.5°C), No. 5 (2.1°C), No. 6 (1.7°C) となり、上流側ほど水深浅くなるからその較差の減少がみられるが、前回 (2月3日) の厳冬期観測より較差の増高を示し、水温成層化の進展傾向が、その表層部 (0~1m 付近) に第 1 次躍層を形成しつつあることがらうかがえる。

この際水温の鉛直傾度をみると、1m 当りの平均で測点 No. 1 (0.33°C), No. 2 (0.33°C), No. 3 (0.47°C), No. 4 (0.60°C), No. 5 (0.70°C), No. 6 (1.85°C) となり、これも上流側ほど大で、前回 (2月3日) の場合よりやや増高している。また水温鉛直分布をみると表層 0~1m の範囲に傾度 (測点 No. 1, 1.8°C, No. 2, 1.2°C, No. 3, 0.8°C, No. 4, 0.6°C, No. 5, 0.6°C, No. 6, 0.7°C) がやや大きい躍層が発生しつつあり、それ以下水深約 10m 付近までその鉛直分布がやや傾斜し、それ以下はほぼ鉛直状態を示している。そこで池内全域について定測点 (No. 1~No. 6) の全平均を求めてみると約 0.45°C、躍層部全平均は約 0.95°C となる。これらの値は、もちろん夏季成層期のそれには及ばないとしても、池内総平均では前回のそれ (0.16°C) に比較してやや増高している。

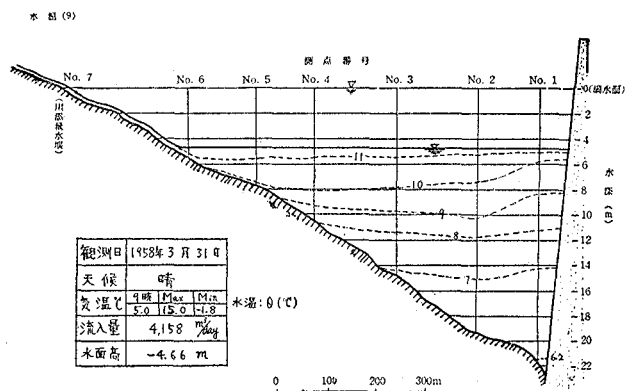
すなわちこの頃は、受熱による循環期にあたるわけであり、日中水温は水面で max 値を示し、深さとともに減少して表面から加熱された熱量は、順次下方へ伝播され 10m 付近まで輻射熱量が吸収貯蔵され、また夜間におい

は隧道施工のため調節され、あまり変化なく平均値として満水面下 4.55m となった。

次に調査日の水文事項をみると、貯水池流入水量は 4,158 m³/day で過去 2 カ年平均値の約 1/2 で少い貯水位は満水面下 4.66m であり変化なく、気温は川添観測点で、9時 5.0°C, max 15.0°C, min -1.8°C, 堰堤部観測点で 9時 9.0°C, max 15.0°C, min -2.0°C となりその較差大きく、観測時 (12~15時) は 14.5~15.0°C、天候は晴であった。また流入水質をみると、水温は 9時 6.8°C で気温より高く、13~15時 10.0°C で気温より低く、気温と同じように昼夜による日変化著しかったことが推察できる。また流入濁度は 4.6ppm, pH 7.4, アルカリ度は 42.0 ppm であった。

さて定測点の水質観測並びに計算値の結果を示したのが第 16 表で、これから各水質の等値分布図を作製したのがそれぞれ第 86 図 (水温分布図), 第 87 図 (濁度分布図), 第 88 図 (pH 分布図), 第 89 図 (アルカリ度分布図), 第 90 図 (密度分布図) および第 91 図 (限界速度勾配分布図) となる。

先ず水温分布 (第 16 表, 第 86 図参照) についてみると、上昇中の気温が 3 月末 28 日頃より急に低下し、以後毎日最低気温が零下を示したので、流入水温も低下の様相を呈した。観測時流入水温は 10.0°C であったのに対し池内においては池表水温 11.5~11.8°C (平均 11.6°C) となりやや

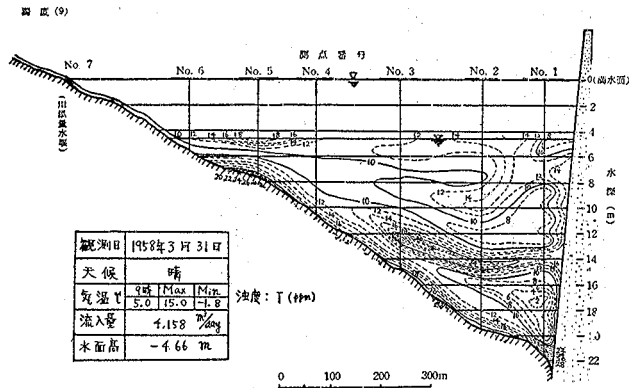


第86図 神内上池水温分布図 (9)

第16表 神内上池水質調査並びに計算表 (9)  
(1958年3月31日, 晴, 気温14.5~15.0°C, 貯水位満水面下4.66m)

観測点	水深 Z(m)	水温 $\theta(^{\circ}\text{C})$	濁度 T (ppm)	密度 $\rho_{\theta T}$	鉛直安定度 $E=d\rho/dz$	限界速度勾配 $G_o=\sqrt{ gE/\rho }$	pH	アルカリ 度(ppm)	備 考
No. 1	0	11.8	6.0	0.99963960	-0.00017231	0.0411	7.2	48.0	気温: 15.0°C 透明度: 1.60m
	1	10.0	9.1	0.99981191	-0.00003507	0.0185	7.2	46.0	
	2	9.6	13.6	0.99984698	-0.00001474	0.0120	7.3	46.0	
	3	9.4	12.0	0.99986172	-0.00004111	0.0201	7.3	45.0	
	4	8.8	6.8	0.99990283	-0.00001545	0.0123	7.2	42.0	
	5	8.6	10.1	0.99991828	-0.00002394	0.0153	7.1	46.0	
	6	8.2	6.4	0.99994222	-0.00001990	0.0139	7.2	43.0	
	7	7.9	9.6	0.99996212	-0.00002024	0.0141	7.1	47.0	
	8	7.5	5.3	0.99998236	-0.00003300	0.0180	7.1	46.0	
	9	7.2	18.0	1.00000488	-0.00001048	0.0101	7.2	48.0	
	10	6.9	10.4	1.00001536	-0.00001258	0.0111	7.2	42.0	
	11	6.6	8.7	1.00002794	-0.00000064	0.0025	7.1	47.0	
	12	6.5	2.0	1.00002858	-0.00000065	0.0025	7.2	46.0	
	13	6.5	3.2	1.00002923	-0.00000500	0.0070	7.1	45.0	
	14	6.4	4.8	1.00003423	-0.00000283	0.0053	7.1	46.0	
	15	6.3	2.6	1.00003706	-0.00000335	0.0057	7.1	47.0	
	16	6.3	8.8	1.00004041	-0.00001459	0.0119	7.2	47.0	
17	6.2	28.6	1.00005500			7.1	47.0		
No. 2	0	11.6	15.9	0.99966583	-0.00011298	0.0333	7.3	48.0	気温: 15.0°C 透明度: 1.70m
	1	10.4	11.8	0.99977881	-0.00001709	0.0129	7.3	44.0	
	2	10.2	11.0	0.99979590	-0.00003290	0.0179	7.1	44.0	
	3	9.8	9.7	0.99982880	-0.00001775	0.0132	7.2	44.0	
	4	9.6	12.8	0.99984655	-0.00003159	0.0176	7.2	40.0	
	5	9.2	14.4	0.99987814	-0.00002750	0.0164	7.2	42.0	
	6	8.8	12.0	0.99990564	-0.00004984	0.0221	7.1	50.0	
	7	8.0	8.3	0.99995548	-0.00000567	0.0075	7.1	40.0	
	8	7.9	7.8	0.99996115	-0.00001336	0.0114	7.2	46.0	
	9	7.7	11.2	0.99997451	-0.00003426	0.0183	7.1	45.0	
	10	7.2	25.2	1.00000877	-0.00000861	0.0092	7.1	43.0	
	11	6.8	5.6	1.00001738	-0.00001153	0.0177	7.1	39.0	
	12	6.6	10.5	1.00002891	-0.00000059	0.0024	7.1	36.0	
	13	6.6	11.6	1.00002950	-0.00000163	0.0040	7.1	43.0	
14	6.6	13.6	1.00003113	-0.00000700	0.0083	7.2	40.0		
14.5	6.6	21.1	1.00003463			7.1	46.0		
No. 3	0	11.6	10.6	0.99966296	-0.00008056	0.0281	7.2	47.0	気温: 14.5°C 透明度: 1.20m
	1	10.8	14.0	0.99974352	-0.00003497	0.0185	7.1	47.0	
	2	10.4	11.2	0.99977849	-0.00002890	0.0168	7.2	43.0	
	3	10.1	10.0	0.99980394	-0.00004961	0.0221	7.2	42.0	
	4	9.5	11.2	0.99985355	-0.00003642	0.0189	7.2	42.0	
	5	9.0	9.2	0.99988997	-0.00004843	0.0218	7.1	43.0	
	6	8.3	11.0	0.99993840	-0.00003316	0.0180	7.1	41.0	
	7	7.8	16.3	0.99997156	-0.00001728	0.0130	7.2	42.0	
	8	7.6	27.4	0.99998884	-0.00000835	0.0029	7.1	42.0	
	9	7.3	9.5	0.99999519	-0.00002943	0.0170	7.1	43.0	
10	6.8	19.0	1.00002462			7.1	47.0		
No. 4	0	11.5	12.0	0.99967398	-0.00005839	0.0239	7.1	40.0	気温: 14.5°C 透明度: 1.50m
	1	10.9	10.8	0.99973237	-0.00002693	0.0162	7.2	43.0	
	2	10.6	9.0	0.99975930	-0.00002660	0.0161	7.3	42.0	
	3	10.3	8.6	0.99978590	-0.00007485	0.0271	7.2	42.0	
	4	9.4	10.2	0.99986075	-0.00004521	0.0211	7.2	43.0	
	5	8.8	12.6	0.99990596	-0.00005476	0.0232	7.1	44.0	
6	8.0	18.0	0.99996072			7.1	47.0		
No. 5	0	11.5	19.8	0.99967819	-0.00005310	0.0228	7.1	44.0	気温: 14.5°C 透明度: 1.50m
	1	10.9	8.8	0.99973129	-0.00003901	0.0200	7.2	42.0	
	2	10.5	12.6	0.99977030	-0.00004012	0.0198	7.3	42.0	
	3	10.1	22.0	0.99981042	-0.00011902	0.0342	7.3	43.0	
3.5	9.4	27.2	0.99986993			7.2	44.0		
No. 6	0	11.7	12.5	0.99965361	-0.00006836	0.0259	7.2	42.0	気温: 15.0°C 透明度: 1.50m
	1	11.0	9.2	0.99972197	-0.00017956	0.0420	7.2	43.0	
	1.5	10.0	8.8	0.99981175			7.1	44.0	
No. 7	0	10.0	4.6	0.99980948			7.1	42.0	気温: 15.0°C

ては、一応気温低下により吸収輻射熱より空中放熱が大であることから、表層水中に一時上冷下暖の不安定層が発生し、表層密度が下層密度より大となり、この不安定層の解消により水の擾動が刺戟され循環混合が行われることになり。この際受熱期であるので日中日射による熱量吸収が夜間における水面よりの放熱より大となって漸次池水は昇温傾向をたどることになるが、当日最高最低較差が 16.8°C で相当大きく、水温の振巾も相当量に達することが想像されることから、循環混合の顕著なることが考えられる。

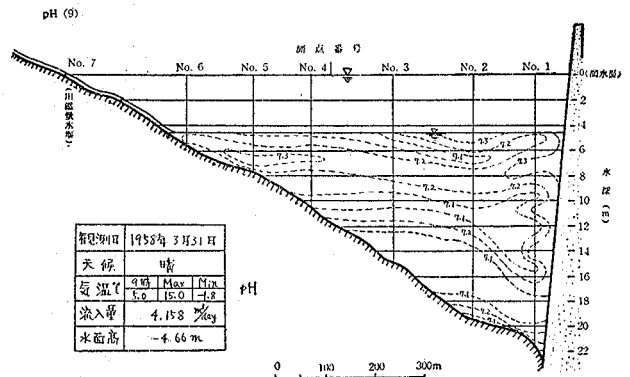


第87図 神内上池濁度分布図(9)

なり、これら貯水池内における濁度(または清澄度)分布や、sediment の浮遊沈澱作用などについては、SHERMAN<sup>(9)</sup>小島(58,62,63)、向井(59,60)、竹村<sup>(61)</sup>などがふれているように、帯電性 colloid 粒子の flocculation や thermocline などにより説明できるだろうが、この点については後に検討したい。

pH分布(第16表、第88図参照)についてみると、流入水の pH は 7.1 であるのに対し、池内においては 7.1~7.3 にわたり pH 成層化の傾向がみられるが、その堰堤付近において若干乱れている。

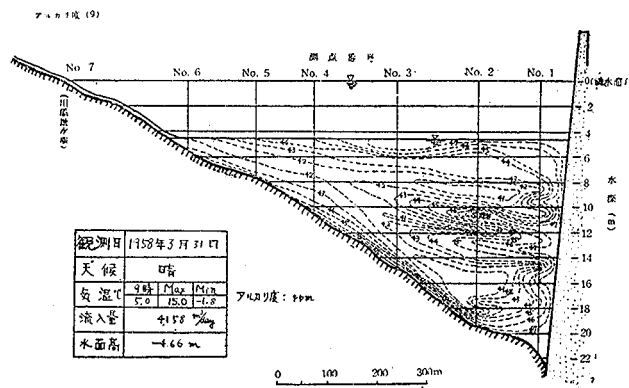
アルカリ度分布(第16表、第89図参照)をみると、流入水では 42.0ppm であるのに対し、池水においては 42~48ppm の範囲にわたって前回(2月3日)よりやや小さいが、一般にアルカリ度は大である。しかも濁度分布と同じように流入水と池水の循環混合を暗



第88図 神内上池密度分布図(9)

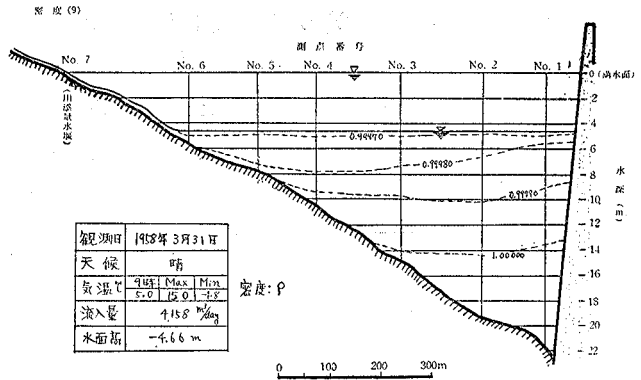
示するがごとき複雑な分布を示し、その池底に沿う底層部や中層部分に部分的なアルカリ度成層またはアルカリ度躍層が生じていることは、今回の観測で特筆すべき事項となる。

次に密度分布(第16表、第90図参照)であるが、今回も前回(2月3日)と同じように、鉛直面内水温差が比較的小さく、しかも池水全域にわたって濁濁しており、部分的には相当濁度差が認められるので、密度のバランスが破れ易い不安定な状態にあるものと考えられ、循環混合の活潑なることが推察できる。



第89図 神内上池アルカリ度分布図(9)

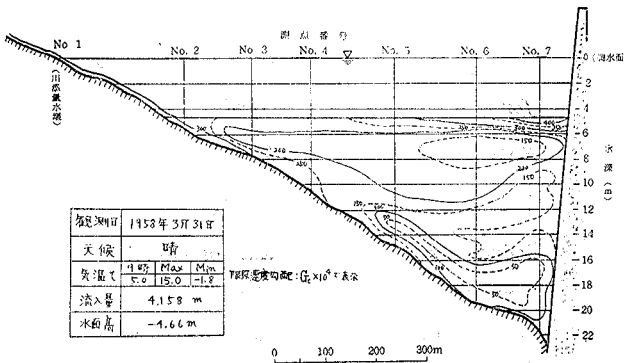
さてその密度分布をみると一応水温分布と同じように成層をなしており、表層 (0~1m) に躍層が形成されつつあることが認められるが、密度の鉛直面内 max, min 較差は、測点 No. 1 (0.00041540), No. 2 (0.00036880), No. 3 (0.00036166), No. 4 (0.00028674), No. 5 (0.00019174), No. 6 (0.00015814) となり一般に小さく、まだ下流側底層部分には低水温、高濁度にもつき密度  $\rho > 1$  なる部分が残存している。またその密度勾配 (鉛直安定度  $E = d\rho/dz$ ) をみると、深さ1m当りの平均値は測点 No. 1 ( $25.0 \times 10^{-6}$ ), No. 2 ( $24.8 \times 10^{-6}$ ), No. 3 ( $36.7 \times 10^{-6}$ ), No. 4 ( $47.8 \times 10^{-6}$ ), No. 5 ( $62.8 \times 10^{-6}$ ), No. 6 ( $124.0 \times 10^{-6}$ ) となり、



第90図 神内上池密度分布図 (9)

また定測点による全域平均としては  $E_{mean} = 36.1 \times 10^{-6}$  で小さく、ほとんど  $10^{-6} \sim 10^{-5}$  の order で一般に比較的不安定な状態を示していることがうかがえる。しかるに水深0~1m 範囲の密度勾配をみると測点 No. 1 ( $172.3 \times 10^{-6}$ ), No. 2 ( $113.0 \times 10^{-6}$ ), No. 3 ( $80.6 \times 10^{-6}$ ), No. 4 ( $58.4 \times 10^{-6}$ ), No. 5 ( $53.1 \times 10^{-6}$ ), No. 6 ( $68.4 \times 10^{-6}$ ) でその全平均  $E_m = 91.0 \times 10^{-6}$  となり、これ以下各層の安定度よりやや高く、池表に躍層が発達しつつある様相がうかがえる。

限界速度勾配 (9)



第91図 神内上池限界速度勾配分布図 (9)

また限界速度勾配  $G_0$  (第16表, 第91図参照) をみても、その平均値は測点 No.1 ( $0.0130 \text{sec}^{-1}$ ), No.2 ( $0.0141 \text{sec}^{-1}$ ), No.3 ( $0.0177 \text{sec}^{-1}$ ), No.4 ( $0.0213 \text{sec}^{-1}$ ), No.5 ( $0.0242 \text{sec}^{-1}$ ), No.6 ( $0.0339 \text{sec}^{-1}$ ) で上流ほどその平均限界速度勾配が大となっているが、その定測点による池内全域平均として  $G_{mean} = 0.0167 \text{sec}^{-1}$  となり、一般に  $G_0$  値が  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  の order で小さく、乱流交換の容易なることを意味している。さらに水深0~1mの躍層範囲では、測点 No.1 ( $0.0411 \text{sec}^{-1}$ ), No.2 ( $0.0333 \text{sec}^{-1}$ ), No.3 ( $0.0281 \text{sec}^{-1}$ ), No.4 ( $0.0239 \text{sec}^{-1}$ ), No.5 ( $0.0228 \text{sec}^{-1}$ ),

No.6 ( $0.0259 \text{sec}^{-1}$ ) で全平均  $0.0292 \text{sec}^{-1}$  となり、一応他より  $G_0$  値が高くなっている。

以上により今回の流動状態を吟味してみると、前述各水質分布図でわかるように、日中流入水は同温、同密度層に流入するものとする、一応水深約 3~4m 付近を流下するものと考えられるが、なお一般に池水は不安定であるから池内縦横断面における対流擾動による循環混合が活潑なることが推察され、このため池水全域にわたり濁濁しつつあることが了解できる。

最後に透明度 (第16表参照) では、測点 No.1 (1.60m), No.2 (1.70m), No.3 (1.20m), No.4 (1.50m), No.5 (1.50m), No.6 (1.50m) となり、その定測点平均として 1.50m が得られ池水が全域にわたり濁濁しているのでその値が一般に小さい (以下次号)。

ページ	行	誤	正	ページ	行	誤	正
53	6	空中えの	空中への	64	第15表	} 39.2	29.2
〃	19	測定No.1	測点No.1		観測点		
〃	21	ことか示し	ことを示し		No.3		
54	34~35	(深さ1mにつき 6.3ppm)	(深さ1mにつき 平均6.3ppm)		水深2m 濁度項		
〃	14	pH逆列成層	pHの逆列成層	66	22	CORIAOLIS	CORIOLIS
〃	42	の範囲である	の範囲であり、	68	14(16)式	$+0.598n \frac{dT}{dx} \} \times 10^{-6}$	$+0.598n \frac{dT}{dZ} \} \times 10^{-6}$
〃	第62図	神内上池分pH分布図	神内上池pH分布図			… (16)再出	… (16)再出
60	第65図	神内上池限界度勾 配分布図	神内上池限界速度 勾配分布図	69	7	測定No.3	測点No.3
〃	6	$Gc\sqrt{ gE/\rho }$	$Gc = \sqrt{ gE/\rho }$	〃	19	流入は	流入水は
〃	19	Gcの	Gc値の	70	4	約 $\frac{1}{2}$ で少い貯水位は	約 $\frac{1}{2}$ で少い。貯水位 は
61	7	濁濁流入水 peak flow	濁濁流入水のpeak flow	73	23	上流ほど	上流側ほど